NOTICE

SUR

LES TITRES ET LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. A. D'ARSONVAL

Professeur suppléant au Collège de France

Directeur du

Laboratoire de Physique Biologique de l'École des hautes études

PARIS

IMPRIMERIE DE « LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE »

31, BOULEVARD DES ITALIENS. — H. THOMAS

1888

TITRES ET FONCTIONS

Interne des hôpitaux de Limoges (1871-73);
Externe des hôpitaux de Paris (1873);
Préparateur au collège de France (médecine, 1875);
Professeur titulaire à l'école supérieure Arago;
Docteur en médecine (Faculté de Paris, 1877);
Directeur du Laboratoire de Physique biologique de l'École des hautes études au Collège de France créé pour M. d'Arsonval, 1882);
Chargé, comme remplaçant, du cours du professeur Brown-Séquard, au Collège de France (chaire de médecine) pendant le semestre d'hiver, de 1881 à 1886;
Nommé suppléant au Collège de France (1887).

ENSEIGNEMENT

Cours du Collège de France (chaire de médecine)

Leçons sur la chaleur animale (1882-83);
— l'électro-physiologie (1883-84);
— — — (1884-85);
— la chaleur animale (1885-86);
— la calorimétrie (1886-87);
— la respiration (1887-88).

Ces cours sont restés inédits.

Conférences pratiques de physiologie et de physique biologique au laboratoire du Collège de France depuis 1882.

RÉCOMPENSES, DISTINCTIONS HONORIFIQUES ET SOCIÉTÉS SAVANTES

Lauréat de la Faculté de Paris (Thèse, 1877);
— de l'Institut (Académie des Sciences), prix de physiologie expérimentale (1881);
Officier d'Académie (1881);
Chevalier de la Légion d'honneur (1884);
Membre du Congrès des électriciens (1881);
Membre du jury des récompenses (Exposition d'Electricité, 1881;
— de la Commission d'admission pour l'Exposition universelle de 1889.
— titulaire et ancien vice-président de la Société de Biologie;
— de la Société de Physique;
— de la Société de Psychologie physiologique;
— du Conseil de la Société internationale des Électriciens.

Section I

CALORIMÉTRIE ET CHALEUR ANIMALES

C'est à l'état de chaleur que se manifeste à nous la plus grande partie de l'énergie développée par les êtres vivants. La mesure des *quantités de chaleur* a donc une grande importance en biologie.

Le thermomètre est impuissant à lui seul à nous renseigner sur les variations survenant dans la *production* de la chaleur; il peut même nous induire en erreur, ainsi que j'en ai donné plusieurs exemples (voir animaux vernis, oiseaux et mammifères, modifications du pouvoir émissif de la peau humaine, etc.,..).

Il est absolument faux de croire que les deux expressions : *augmentation de la température* du corps, et *augmentation de la production de chaleur* soient synonymes, contrairement à ce que croyaient Bérard et bon nombre de physiologistes et de médecins.

Conditions générales des recherches calorimétriques en biologie

(Travaux du laboratoire de M. Marey, 1878.)

1° *Il faut, avant tout, que l'animal soit dans un milieu dont la température ne change pas pendant l'expérience.* N° 1

C'est d'abord le seul moyen d'étudier l'action de la température du milieu ambiant sur la thermogénèse, et de pouvoir, en second lieu, faire des expériences comparatives.

Cette condition est d'une nécessité absolue lorsqu'on veut, comme je l'ai fait, étudier les phénomènes thermiques durant l'incubation des œufs d'oiseau, ou ceux relatifs aux différentes fermentations.

2° *Le milieu gazeux où respire l'animal doit avoir une composition constante*, mais pouvant varier d'une expérience à l'autre.

3° *L'expérience doit pouvoir se poursuivre pendant un temps aussi long qu'on le désire*; on élimine ainsi, soit les causes d'erreur accidentelles, soit les coïncidences heureuses.

4° *On doit avoir la certitude de mesurer toute la chaleur dégagée par l'animal.*

5° *La certitude de ne mesurer qu'elle.*

6° *La possibilité d'enregistrer automatiquement, et sans corrections, les calories degagées.*

Ai-je besoin de dire qu'aucune des méthodes employées par les physiciens ne réalisait ce programme un peu compliqué.

Principe général de la méthode

(Société de Biologie 1877, 1er décembre.)

Je viens de dire que pour répondre aux exigences physiologiques, le calorimètre où est renfermé l'animal doit rester à une température *sensiblement invariable* et permettre, de plus, de *continuer sans corrections* l'expérience pendant un temps quelconque. N° 2

Ces deux conditions dominent la construction de l'appareil.

La présence de l'animal dans son intérieur tend à échauffer le calorimètre, mais cet instrument est construit de telle sorte qu'*il règle automatiquement sa température en agissant sur une source de froid compensatrice qui lui enlève à chaque instant la chaleur cédée par l'animal et en donne la mesure.*

Pour éviter les corrections, le calorimètre ne doit *ni céder ni emprunter de calorique au milieu ambiant.* Ce qui revient à dire qu'il doit avoir la même température que lui.

Donc, en plaçant l'instrument dans une enceinte à température constante ayant le même degré que lui, on évite toute correction due au rayonnement.

Comme on le voit, le principe de cette méthode générale de calorimétrie consiste à ramener constamment le calorimètre à *l'état initial* par une source frigorifique, compensatrice et automatique donnant la mesure de la chaleur dégagée.

C'est donc une *méthode calorimétrique par compensation.*

Il fallait, avant tout, réaliser une enceinte à température constante.

Enceinte à température constante

(Société de Biologie, 1876, 5 août)

N° 3 Les régulateurs de température employés dans les laboratoires en 1875, quand je commençai l'étude de la question, étaient l'appareil de Bunsen ou ses dérivés.

Ces instruments consistent essentiellement en un gros thermomètre à mercure dont on utilise la dilatation de différentes manières, pour obstruer plus ou moins le passage du gaz d'éclairage qui sert de combustible.

Pour être sensible, cet appareil doit employer une masse considérable de mercure, mais alors, il devient paresseux ; son principal inconvénient vient de son principe même et est commun à tous les *régulateurs indirects*. Cet inconvénient le voici : pour avoir une enceinte à température uniforme on la constitue par un vase entouré d'eau de tous côtés, cette enveloppe liquide distribue régulièrement la chaleur autour de l'enceinte et, à cause de sa chaleur spécifique élevée, empêche les brusques variations en constituant un véritable *volant de chaleur*.

Le régulateur est plongé d'habitude dans ce volant de chaleur, à la façon d'un thermomètre. Par conséquent, l'appareil ne règle la température que pour l'espace fort restreint qu'il occupe. De plus, le foyer chauffe d'abord le matelas liquide, c'est-à-dire, l'enceinte elle-même. Ce n'est qu'après coup que la chaleur se transmet au régulateur, qui est d'autant plus paresseux, que ses parois et son contenu sont moins bons conducteurs de la chaleur et ont une capacité calorifique plus grande.

C'est pourquoi, malgré sa faible dilatation, on prend, de préférence, le mercure qui présente une très faible capacité calorifique.

Malgré cette précaution, la température du régulateur est toujours en retard sur celle de l'enceinte ; l'appareil présente un *temps perdu* qui le rend infidèle. De plus, le mercure enfermé dans une enveloppe aussi fragile que le verre est toujours, en cas de rupture, un danger pour l'étuve.

J'ai paré à tous ces inconvénients et supprimé complètement l'usage du mercure en inventant *la régulation directe.*

Pour cela, je supprime tout régulateur indirect plongeant dans le matelas liquide environnant l'enceinte ; *j'utilise, simplement, la dilatation de ce matelas liquide pour régler le passage du gaz qui se rend au brûleur.*

C'est cet artifice qui constitue l'originalité de mon régulateur et son exquise sensibilité.

On comprend, en effet, que le matelas liquide et le régulateur ne faisant plus qu'un même tout, il ne peut y avoir aucun retard dans la régulation.

L'étuve (fig. 1) se compose :

De deux vases cylindro-coniques, limitant deux cavités ; l'une centrale qui est l'étuve, l'autre annulaire pleine d'eau, constituant à la fois le matelas liquide et le régulateur soumis à l'action du foyer.

L'espace annulaire communique par la douille 2 avec une membrane souple verticale. Cette membrane constitue, quand l'ouverture 3 est bouchée, la seule portion de paroi qui puisse traduire à l'extérieur les changements de volume du matelas d'eau *en les totalisant.*

Or, le gaz qui doit aller au brûleur 6 est amené par le tube 4 qui débouche normalement au centre de la membrane, et à une faible distance de sa face extérieure. Une fois réglé, il s'échappe de la boîte 7 par le tube 5, pour aller au brûleur 6. Le tube et la membrane constituent, de la sorte, un

robinet très sensible, dont le degré d'ouverture est sous la dépendance de la température du matelas d'eau, et qui ne laisse aller au brûleur que la quantité de gaz strictement nécessaire pour compenser les causes de refroidissement.

Au lieu de fermer la tubulure 3 hermétiquement, je la surmonte d'un tube de verre quand j'ai atteint la température voulue. La pression exercée par l'eau qui s'élève dans le tube suffit à pousser la membrane. De cette manière, l'étuve retombe à son point au rallumage.

Ce régulateur direct *est un grand thermomètre creux dans la cavité duquel se loge le corps à étudier*. On retrouve ce principe de régulation (totalisation des changements de volume du matelas annulaire) dans tous mes appareils. Leur sensibilité n'a pas de limites, bien que leur construction ne

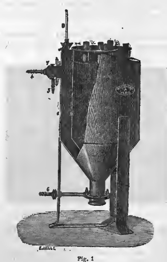


Fig. 1

nécessite aucune précision. Une étuve contenant 20 litres d'eau maintient la température à 1/50 de degré dans l'espace intérieur, s'il est bien clos, et on peut aller beaucoup plus loin.

C'est ce modèle d'étuve qui a été adopté aujourd'hui généralement dans tous les laboratoires, tant français qu'étrangers.

Ce dispositif s'applique seulement aux petites étuves. Lorsqu'on veut avoir de grands espaces à température fixe, capables de contenir une ou plusieurs personnes, pour la calorimétrie humaine, ou certaines expériences de physique, la forme de l'étuve est modifiée comme ci-dessous.

Grands espaces à température fixe

(Catalogue Wiesnegg, 1877, travaux du laboratoire de Marey, 1878.)

1° Le régulateur est séparé de l'étuve ; N° 4

2° Le chauffage du matelas liquide a lieu par la vapeur d'eau.

La figure 2 est un dessin schématique de ce dispositif.

L'étuve n'a plus de fonds ; deux grands cylindres verticaux concentriques contiennent entre eux le matelas d'eau 1. Cette eau communique par le tube 5 avec la membrane régulative qui se trouve

portée sur un pied indépendant. Cette séparation du liquide dilatable d'avec le régulateur présente certains avantages. J'ai pu faire de ce dernier un appareil d'un usage tout à fait général pour régler les températures et les pressions.

Les fonds de l'étuve sont à fermeture hydraulique d'huile, comme on le voit sur la figure 2. On peut ainsi recueillir et analyser les gaz de l'étuve sans les mettre en communication avec l'air extérieur.

L'action directe de la flamme sur des surfaces métalliques aussi grandes les feraient gondoler. J'évite cet inconvénient en chauffant le matelas 1 par la vapeur provenant de la bouillotte 3 à travers le serpentin 2.

Ce mode de chauffage est très régulier, on peut même savoir combien de calories on fournit à l'appareil ; il suffit, pour cela, de placer la bouillotte en 2 et de recueillir l'eau condensée par le serpentin. Je me suis servi de cette méthode dans quelques cas, notamment pour vérifier la loi de Newton relative au refroidissement du corps.

C'est sur ce principe que j'ai établi les étuves servant à M. Pasteur et à M. Mascart.

Quant au régulateur proprement dit, il est semblable à celui de l'étuve de la figure 1. La seule

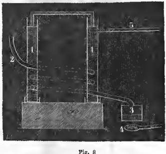


Fig. 2

différence consiste dans sa séparation complète de l'étuve à laquelle il est relié par l'intermédiaire du tube 5 en plomb très flexible ou en caoutchouc entoilé.

La figure 3 donne un schéma de la disposition générale de l'appareil. On y voit le serpentin A B qui sert à condenser la vapeur provenant de la bouillotte et, en haut, à droite de la figure, le régulateur à membrane, porté sur un pied séparé et isolé de l'étuve,

Calorimètre enregistreur

(Société de biologie, 1877.)

N° 5 Cet appareil dérive de mon enceinte à température constante et présente les mêmes dispositions générales.

Il est astreint, ainsi que je l'ai dit, à rester toujours à la même température que l'enceinte. La chaleur qui lui est cédée par la présence de l'animal, lui est enlevée à mesure par un courant d'eau qui, entrant à zéro, sort à la température de l'enceinte T. Cette eau, en traversant le calorimètre, gagne donc T calories par litre écoulé ; la mesure de la chaleur produite par l'animal se trouve ainsi ramenée à celle d'un écoulement liquide.

L'eau, à zéro, est fournie par un réservoir qui contient de la glace ordinaire maintenue immergée sous l'eau. Ce réservoir est isolé par des corps mauvais conducteurs de la chaleur.

Le calorimètre proprement dit se compose, comme l'étuve de la figure 1, de deux cylindres concentriques circonscrivant deux cavités ; une centrale, où est placé l'animal en expérience, l'autre annulaire, qui renferme le matelas liquide dilatable.

Le liquide est traversé par un serpentin à travers lequel passe l'eau à zéro chargée d'enlever la chaleur produite par l'animal.

Pour cela, un des bouts du serpentin (celui de gauche dans la figure 4) est relié avec le récipient

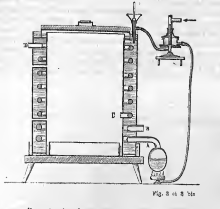
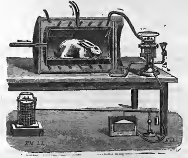




Fig. 3 et 3 bis

contenant l'eau à zéro, le second bout est en rapport avec le régulateur d'écoulement qu'on voit à droite de la figure.

Ce régulateur est construit de telle sorte qu'il permet l'écoulement de l'eau à travers le serpentin



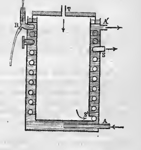


Fig. 4 et 5

aussitôt que la température du calorimètre tend à s'élever au-dessus de la température ambiante. On en trouvera la description détaillée ci-dessous. Tant que le calorimètre est à la température ambiante, aucun écoulement d'eau ne peut avoir lieu; si on introduit, au contraire, un animal dans le calorimètre, *immédiatement*, l'écoulement d'eau à zéro commence, d'autant plus rapide que la source de chaleur est elle-même plus énergique; et cela sans secousses, avec une continuité parfaite.

La *température moyenne* du calorimètre, pendant tout le temps, ne varie pas de 1/100 de degré.

Rien de plus facile que d'évaluer le nombre de calories fournies, en un temps donné, par l'animal en expérience. Il suffit, pour cela, de mesurer le volume d'eau qui a traversé le serpentin. En effet, supposons que l'eau qui entre à zéro sorte du calorimètre à + 15°, elle aura enlevé 15 calories par litre écoulé.

La mesure de la chaleur dégagée est donc ramenée à la mesure d'un volume liquide, et rien de plus facile que d'inscrire les phases correspondantes du dégagement de chaleur. Dans le dispositif, figure ci-contre, utilisé par M. Marey, pour d'autres expériences, le liquide se rend dans un grand vase cylindrique muni d'un flotteur ne touchant pas la paroi. Ce flotteur est suspendu à un long levier qui tend constamment à le soulever sous l'influence d'un contrepoids bien visible sur la figure 4. L'extrémité de ce levier porte une plume qui vient inscrire les phases de l'écoulement sur un cylindre faisant un tour en 24 heures et qui porte un papier divisé. On fait varier à volonté le bras de ce levier de façon qu'une division verticale corresponde à la calorie, et une division horizontale à la minute de temps.

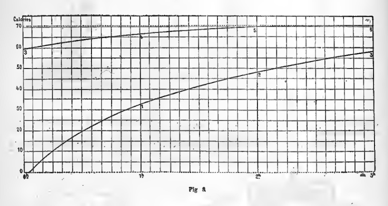


Fig 5

Pour contrôler l'exactitude de l'appareil, je lui fournis une quantité de chaleur connue et je mesure ensuite celle qu'il enregistre. L'écart est toujours infiniment faible.

Ci-joint, à titre d'exemple, un graphique donné par l'appareil (fig. 6).

J'avais placé dans le calorimètre un litre d'eau à 100°. La température du calorimètre étant à 30°, le refroidissement par rayonnement a mis environ 6 heures à s'effectuer. La courbe (fig. 5) indique les phases de ce refroidissement. On voit qu'on retrouve sensiblement les 70 calories fournies à l'appareil, et la régularité de cette courbe montre que l'écoulement se fait bien proportionnellement au gain de chaleur. D'un grand nombre d'expériences de ce genre, j'ai pu conclure que cette méthode fournit des résultats d'une exactitude plus que suffisante pour la physiologie.

Je ferai remarquer, d'ailleurs, que l'*erreur absolue de l'appareil reste sensiblement constante, tandis que l'erreur relative devient de plus en plus petite à mesure qu'on prolonge l'expérience.* C'est là un des plus grands avantages de ma méthode.

Dans les nombreuses expériences que j'ai faites au Collège de France, j'ai pu supprimer l'enceinte à température constante environnant le calorimètre. Pour cela, j'ai installé l'instrument dans une cave du laboratoire dont la température reste constante pendant des semaines, et dont les oscillations vont de + 10° à + 12° dans le courant de l'année.

C'est une condition facile à réaliser dans la plupart des laboratoires et qui a l'avantage de simplifier l'installation.

Régulateur d'écoulement

(Catalogue Wiesnegg, 1877, laboratoire de Marey, 1878)

Cet appareil s'applique dans le cas où on veut chauffer des liquides à température fixe, et où, pourtant, on ne peut songer à régler l'activité du foyer. N° 6

C'est ce qui arrive pour le calorimètre dont la température ne doit pas varier, et qui contient néanmoins, dans son intérieur, une source de chaleur variable (l'animal en expérience). C'est également le cas pour le chauffage des vins par le procédé Pasteur.

Le régulateur d'écoulement (fig. 7) se compose, comme celui de la figure 1, d'une membrane horizontale dont la face inférieure est en communication, par le tube 1, avec le liquide régulateur.

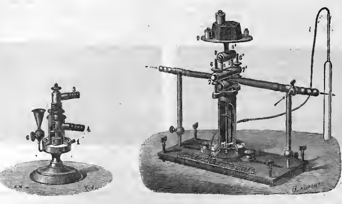


Fig. 7 et 8

Sa face supérieure porte un galet métallique 2 sur lequel repose une soupape métallique 5 qui s'ouvre quand la membrane soulève le galet 2.

Le fonctionnement se comprend facilement :

Dès que le régulateur tend à se réchauffer, la membrane soulève le galet 2 et ouvre la soupape 5, le liquide réfrigérant arrive par le tube 3 et sort par le tube 4. Si l'ardeur du foyer diminue, au contraire, la membrane se retire et diminue l'ouverture de la soupape.

Par ce mécanisme, le liquide *s'écoule toujours à la même température, quelle que soit l'ardeur du foyer*.

De plus, *la quantité de liquide écoulé en un temps donné sert de mesure à l'activité de la combustion*. — J'ai pu mesurer ainsi la puissance calorifique d'un combustible, et construire un excellent pyromètre.

La soupape de cet appareil présentait parfois l'inconvénient de n'être pas parfaitement étanche, et le moindre grain de poussière suffisait pour cela. C'est pourquoi, dans mon calorimètre, j'ai remplacé ce régulateur par le suivant, qui n'en est d'ailleurs qu'une simple variante.

Dans le nouvel appareil (fig. 8), le liquide passe à travers un tube de caoutchouc à parois minces, reposant sur un cylindre qui peut soulever la membrane 2 par l'intermédiaire du galet 3 et de la tige portant le plateau 9. Un second cylindre fixe 7 sert de buttée, et le tube de caoutchouc vient s'y

écraser plus ou moins, suivant le degré de soulèvement de la membrane 2 ; si, au contraire, on met le tube sur la traverse en 5'5', l'appareil fonctionne à la manière du régulateur ordinaire.

Après avoir décrit le point de départ et le principe de ma méthode calorimétrique, je reviens aux différentes dispositions instrumentales qui m'ont permis de régler la température depuis 50° *au-dessous* de zéro, jusqu'à 1200° au-dessus.

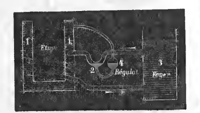
Thermo-siphon régulateur

(Société de Biologie, 1876)

1° *A liquide* :

N° 7 Cet appareil, avec ses deux variantes, a servi à la dissécation de corps explosifs avec un foyer dont on ne pouvait pas régler l'activité et qui, d'autre part, devait se trouver éloigné du corps à dessécher.

L'étuve 1 (fig. 9) est chauffée à distance par un thermo-siphon 3, à l'aide d'un serpentin, ce serpentin sort en dehors et se recourbe en U, comme on le voit en 2. Ce tube 2 est terminé en Y, et mis en rapport avec une boule 4 contenant du mercure.



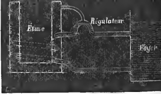


Fig. 9 et 10

La partie supérieure de la boule est reliée au liquide de l'étuve dont la dilatation fait monter le mercure dans le tube en U.

Quand la température tend à trop s'élever, l'U se remplit de mercure qui ralentit la circulation de l'eau chaude comme le ferait un robinet. L'étranglement variable du thermo-siphon règle ainsi automatiquement la circulation du liquide chaud.

2° *A air* :

N° 8 Dans cette variante (fig. 10) le mercure est supprimé.

Le matelas liquide de l'étuve est remplacé par de l'air. Le tube en U a sa convexité tournée vers le haut. Quand l'air de l'enceinte, chauffé par le serpentin du thermo-siphon a acquis le degré voulu, il se dilate, refoule le liquide du thermo-siphon et en ralentit la circulation.

Régulateur de pression pour les vapeurs

(Notice Wiesnegg, 1877, académie des Sciences, 1880)

N° 9 Cet appareil a pour but

1° De maintenir absolument constante, dans une chaudière, la pression (et, par conséquent la température) d'une vapeur, quel qu'en soit le débit;

2° De n'user de combustible que proportionnellement à la vapeur consommée.

3° De rendre la marche de l'instrument automatique, en évitant tout danger d'explosion.

Ce régulateur se compose d'une membrane flexible 8, serrée entre deux plaques métalliques

La face inférieure de la membrane est mise en rapport avec la vapeur par un tube étroit de plomb se raccordant au tube 1. La face supérieure de la membrane est chargée par un disque métallique 2,

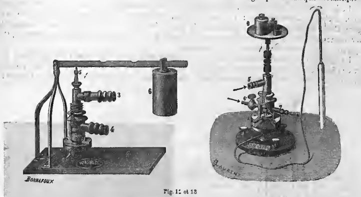


Fig. 11 et 13

qui lui transmet, par la tige 5, la pression du poids 6, agissant avec une force variable par l'intermédiaire d'un levier.

Le tube 3 amène le gaz qui s'en va, par le tube 4, brûler sous la chaudière.

La membrane se trouve chargée comme une soupape de sûreté. Tant que la vapeur n'a pas la

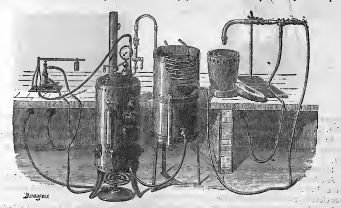


Fig. 12

pression voulue, le gaz afflue au brûleur ; quand la pression est atteinte, le disque 2 est soulevé par la vapeur et règle l'écoulement du gaz. Dès lors la pression reste invariable, quel que soit l'écoulement de vapeur.

J'ai pu ainsi chauffer, pendant des semaines, une marmite de Papin, sans la moindre surveillance.

La figure 12 représente cet appareil appliqué à une soufflerie à vapeur, chauffée au gaz, pour l'obtention de hautes températures.

N° 10 Le jet de vapeur entraîne l'air. Le mélange traverse un serpentin refroidi, où la vapeur se condense. L'air, sous pression de 1 à 2 mètres d'eau, va alimenter le chalumeau placé à droite de la figure. Grâce au régulateur situé à gauche de la figure, la pression de la vapeur est constante, la surveillance et le danger nuls. La dépense de combustible est proportionnelle au travail produit. Cet appareil a rendu de grands services en métallurgie.

N° 11 La figure 13 représente une variante de cet appareil, sans bras de levier et à charge directe qui sert de régulateur de température par tension de vapeur ou d'air. Le réservoir qu'on voit à droite contient de l'air (ou un liquide vaporisable). On le plonge dans le milieu dont on veut régler la

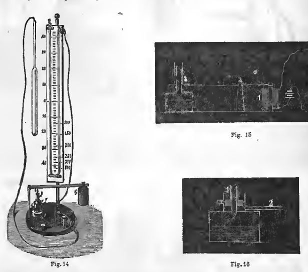


Fig. 14

Fig. 15

Fig. 16

température. En chargeant convenablement le plateau 9 avec des poids, on obtient tel degré que l'on désire. C'est un régulateur par tension de vapeur et non par dilatation.

La figure 14 représente le même appareil, appliqué à la régulation des températures élevées. Il agit par pression de l'air contenu dans un réservoir en porcelaine qu'on voit à gauche de la figure.

Un manomètre donne, à la fois, la pression de l'air et la température.

Je n'insiste pas sur le mode d'action de cet appareil, constamment employé aujourd'hui dans les laboratoires de chimie. Grâce à lui, les chimistes peuvent chauffer leurs tubes scellés à des températures élevées et constantes, ainsi que le montre la figure 14.

Les tubes, creusets, coupelles, etc., se chauffent de la même manière. Cet appareil a également rendu des services pour la production des émaux artistiques.

Régulateur à essence de pétrole

La Lumière Electrique, 18 octobre 1884.

13 La figure 15 représente une lampe à essence minérale dont la flamme est réglée comme suit :

l'appareil régulateur se compose d'un électro-aimant 1, attirant un levier 2, qui soulève, lors de l'attraction, un petit tube 3 placé autour de la mèche de la lampe. Quand la mèche est complètement dégagée du tube, elle brûle à pleine flamme et chauffe fortement. Quand, au contraire, le tube la recouvre, elle ne donne qu'un point lumineux et chauffe très peu. L'électro-aimant fonctionne par un thermomètre à mercure ou par le liquide de l'étuve. Ce petit appareil, très simple, marche parfaitement et proportionne la dépense de combustible aux causes de refroidissement. Je l'ai encore simplifié en supprimant l'intervention de l'électricité par le dispositif représenté figure 16.

Le tube régulateur de la flamme 1 est porté par un flotteur placé au-dessous de la lampe; le liquide N° 14
dilatable de l'étuve est mis en communication par le tube 2. Quand la température s'élève, le liquide provenant de la dilatation soulève le flotteur et baisse la flamme de la lampe. Une couche d'huile empêche l'évaporation.

TEMPÉRATURES BASSES CONSTANTES

Régulateur à chlorure de méthyle

(Académie des Sciences et Société de biologie, 1881.)

Cet appareil est destiné à donner des températures constantes, inférieures à la température am- N° 15
biante. C'est une étuve à parois résistantes contenant du chlorure de méthyle liquéfié sous pression.

Pour avoir une température constante déterminée, j'adapte simplement à l'appareil une soupape de sûreté dont on peut faire varier la charge par un levier.

Si la soupape est sans charge, le chlorure de méthyle bout à — 23° à la pression de l'atmosphère. En chargeant graduellement cette soupape, j'élève la température d'ébullition du chlorure de méthyle qui reste constante pour une même charge de la soupape.

Sans charge. — La température de l'étuve = ...	— 23°
Pour 320 millimètres de mercure, elle égale	— 15°
— 550 — — —	— 10°
— 1,130 — — —	0°
— 1,490 — — —	+ 5°

On fait varier la température par un simple déplacement du contrepoids le long du levier gradué en degrés. C'est un moyen précieux dans bien des recherches. En remplaçant le chlorure de méthyle par l'acide carbonique liquéfié on peut descendre à — 75°.

Régulateur à ammoniaque (fig. 17)

Je suis arrivé au même résultat en me servant, comme source de froid, de l'appareil Carré à am- N° 16
moniaque liquéfié qui sert à fabriquer la glace, dans les laboratoires, en y ajoutant le dispositif suivant:

Cet appareil produit le froid dans le vase 2 par volatilisation de l'ammoniaque liquéfié qui vient se redissoudre dans l'eau du vase 1. Ce froid est d'autant plus intense que la dissolution se fait plus vite, c'est-à-dire que l'eau du vase 1 est elle-même plus froide. Cela posé, pour régler la production du froid en 2, je chauffe l'eau du récipient 1. Je plonge en 2 un régulateur de température 3 à gaz d'éclairage qui amène le gaz au brûleur 4. Si la température s'abaisse trop en 2, le régulateur chauffe plus fort le vase 1 et ralentit, par suite, la dissolution du gaz ammoniac. L'inverse se produit si la température n'est pas assez basse. On obtient ainsi, facilement et à peu de frais, des températures constantes allant jusqu'à — 50°.

Régulateur à éther

Je produis le froid en évaporant l'éther par le courant d'air provenant d'une trompe hydraulique.

La température est rendue constante par un régulateur d'écoulement qui règle le courant d'air et, par suite, l'évaporation de l'éther sulfurique.

Calorimètre par distillation

(Congrès de La Rochelle. — Société de physique, 1880. — Société de biologie, 15 janvier 1881.

N° 18 Cette méthode, de même que ma première, maintient le calorimètre toujours à la température

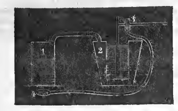




Fig. 17 et 18

ambiante. Elle est basée sur la chaleur latente de volatilisation des liquides *en présence de leur vapeur saturée.* La figure 18 représente schématiquement le principe de cette méthode.

Soit 1 le calorimètre dont l'espace annulaire est mis en communication avec un récipient en verre 2 gradué en centimètres cubes. Supposons l'espace annulaire rempli d'un liquide volatil (éther sulfurique, chlorure de méthyle ou d'éthyle, acide sulfureux, etc.), on a fermé le tout hermétiquement, *après avoir chassé l'air*, par ébullition, des réservoirs 1 et 2. Cette condition est essentielle, il faut que le liquide se trouve seulement en présence de sa propre vapeur saturée. Cela fait, on place le réservoir 1 dans un vase 3 contenant de l'air. Ce vase 3 est lui-même plongé dans le vase 4 contenant de l'eau *en contact direct* avec le tube 2. *Les vases 1 et 2 étant toujours à la même température, aucune distillation ne peut avoir lieu de 1 vers 2, quelles soient les variations de la température extérieure.*

Il en sera tout autrement si on met une source de chaleur *dans l'interieur* du calorimètre 1.

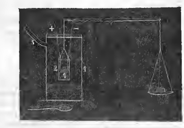


Fig. 19

Cette chaleur sera exclusivement employée à volatiliser le liquide de 1 et le faire distiller vers 2. Le liquide se distillera sans changement de température, et toute la chaleur produite sera employée à produire ce changement d'état. Connaissant la chaleur de volatilisation du liquide, on obtient la mesure de la chaleur produite en lisant simplement le volume du liquide passé en 2. Cet appareil mesure, *intégralement*, un dégagement de chaleur *quelque lent* qu'il soit.

Calorimètre balance

N° 19 J'ai apporté à cette méthode une modification qui m'a permis de peser le liquide distillé par la

balance et d'employer l'eau comme liquide volatil. Cette modificetion est reproduite dans la figure 19.

Au fléau d'une balance sensible, je suspends un vase 2 plein d'eau distillée. Ce vase plonge dans un second, plus grand 1, qui contient de l'eau portée à l'ébullition à sa partie inférieure. Quand l'eau du vase 2 est portée à 100°, comme elle se trouve plongée dans de la vapeur saturée également à 100°, aucune évaporation ne peut se produire dans le vase 2 tant qu'on maintient l'ébullition continue en 1, ce qui est facile, grâce au réfrigérant 3.

Mais, supposons qu'on place en 2 une source de chaleur intérieure, par exemple, une spirale métallique 4 traversée par un courant, tout change alors. *La chaleur cédée par le courant, et elle seule*, volatilise l'eau du vase 2, ce qui se traduit par une diminution de poids que la balance donne exactement. J'ai employé ce procédé pour mesurer le travail R I^2 d'un courant électrique, ainsi que la valeur de R. La Commission internationale des unités électriques m'avait alloué un crédit de 3000 francs pour procéder à ces expériences.

Calorimètre par rayonnement

(Journal *La Lumière Electrique*, 1885, 18 octobre)

Cet appareil a été surtout imaginé pour la calorimétrie humaine à laquelle s'applique difficilement mes autres méthodes, à cause de la grandeur qu'il faut donner au calorimètre. N° 20

En principe, l'appareil se compose (fig. 20) comme toujours, de deux cylindres concentriques, limitant 2 cavités : une intérieure 3, où se place l'homme, une annulaire 1, hermétiquement close et

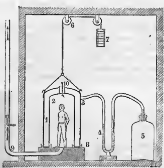


Fig. 20

pleine d'air. Cette cavité est en communication, par le tube 3, avec un manomètre en U, figuré en 4 et rempli d'eau. Le calorimètre est suspendu au plafond par une poulie 6 et équilibré par un poids 7.

Sa base repose sur un socle 8, muni d'une rainure circulaire qu'on emplit de liquide et qui isole la cavité 2 de l'air extérieur par fermeture hydraulique. Pour pénétrer dans l'instrument, on le soulève au-dessus du sol et on le laisse retomber dans la rainure 8, une fois en place. Cette manœuvre ne présente aucune difficulté grâce à la suspension de l'instrument. Au-dessus du socle débouche un tuyau 9 qui passe à travers la cloison de la pièce. La ventilation a lieu par la cheminée 9 où brûle un bec de gaz à débit rendu constant par un petit régulateur Giroud. L'air extérieur arrive par le tube 10, situé en haut du calorimètre. La ventilation se faisant de haut en bas, la température est bien uniforme dans l'intérieur du cylindre calorimétrique.

Supposons l'appareil relié à un manomètre en U, par le tube 3 ; si une source de chaleur est

placée en 2, elle échauffe l'air de 1, et la température s'élève jusqu'à ce que la perte par rayonnement soit égale à la production. Cette augmentation de température se traduit à l'extérieur par l'élévation de la colonne d'eau du manomètre qui en donne la mesure. Ce calorimètre est un grand thermomètre périphérique, comme mon premier ; il est à air au lieu d'être à liquide. Si on employait un

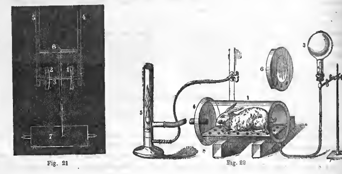


Fig. 21 Fig. 22

manomètre simple il faudrait faire des corrections de température et de pression, suivant les variations du milieu ambiant.

Pour éliminer ces deux corrections, je relie la seconde branche du manomètre soit à un second calorimètre identique au premier, mais vide, soit à un grand vase 5 qui se trouve dans la même pièce. On a ainsi un vrai thermomètre différentiel, et le manomètre indique constamment l'*excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant*, c'est-à-dire précisément la quantité à mesurer, d'après la loi de Newton. Je gradue l'instrument une fois pour toutes en introduisant, dans son intérieur, une source de chaleur d'intensité connue et constante (bec d'hydrogène, lampe à incandes-

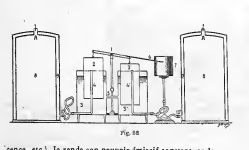


Fig. 23

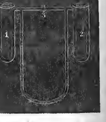


Fig. 24

cence, etc.). Je rends son pouvoir émissif constant, en le recouvrant d'un bon vernis cuit au four. S on veut sensibiliser l'instrument, il suffit d'incliner le manomètre.

Les calories rayonnées en un temps donné sont rigoureusement proportionnelles à la hauteur du manomètre.

Pour inscrire les indications du manomètre, j'avais d'abord employé le manomètre différentiel, inscripteur figuré (fig. 21).

Depuis, j'ai trouvé mieux.

Pour les petits animaux, j'employais le dispositif de la figure 22 qui se passe d'explication.

La figure 24 représente un double calorimètre tout en verre, à ls fois *compensateur* et *différentiel* qui m'a servi pour les insectes et les fermentations.

La figure 23 représente mon dernier procédé d'instription (juillet 1885). L'sppareil se compose N° 21
de 2 calorimètres semblables 8, 8', dont l'un sert de réservoir compensateur. L'appsreil inscripteur (par changement de volume et non de pression) se compose de deux cloches gazométriques 2, 2', suspendues à chaque extrémité du fléau 1, et en rapport, par les tubes 4, 4', avec les cavités 9, 9' des réservoirs calorimétriques. Ces cloches s'équilibrent par le même procédé que les branches du manomètre et le fléau 1 ne peut s'incliner que pour des échauffements *différents* du réservoir calorimétrique. Un levier 6, terminé par une plume, inscrit à l'encre les déplacements du fléau sur un cylindre d'horlogerie 7, faisant un tour en 24 heures, ou en une semaine, suivant le cas.

Calorimètre thermo-électrique

(Journal de Robin, mars 1886, page 156)

Cet appareil repose sur le même principe que le précédent, c'est un thermomètre différentiel N° 22
électrique.

Il se compose de deux soudures thermo-électriques conjuguées ; l'une d'elles (le calorimètre) est creuse et enveloppe l'animal, l'autre plonge dans l'air ambiant. L'animal rayonne à travers la soudure creuse qui l'entoure, l'échauffe, et le galvanomètre indique, par sa déviation, l'excès de température de cette soudure sur l'air ambiant. Un rayon lumineux projeté sur le miroir de l'instrument permet au plus nombreux auditoire, de suivre la marche de l'expérience sur une échelle divisée.

L'équilibre thermique est très rapidement obtenu dans ces conditions et on mesure avec une précision extrême, l'échauffement de l'instrument qui est ici bien moindre qu'avec le calorimètre à air, ce qui constitue une circonstance favorable pour ne pas troubler la thermogénèse chez l'animal en expérience.

Cet appareil est excellent pour étudier la production de chaleur sur les tissus isolés de l'organisme et sur les animaux inférieurs. Il peut recevoir des dimensions microscopiques en conservant toute sa sensibilité. J'en ai fait de juste assez grands pour renfermer une larve ou un insecte.

Méthode ponr meanrer instantanément les moindres variations de la thermogénèse animale

(Société de Biologie, 29 mai 1886)

L'animal est enfermé sous une cloche en verre traversée par un courant d'air qui doit être très N° 23
régulier. On y arrive facilement en faisant l'appel par une trompe à eau munie du flacon régulateur. Le tube central laisse passer de l'air en excès, de sorte que, dans la cloche, l'aspiration se fait toujours sous la même dépression.

L'air qui a traversé la cloche est échauffé par l'animal ; on mesure cet échauffement, en le faisant passer sur une des faces de la pile thermo-électrique, reliée au galvanomètre.

Il est évident, toutes choses égales d'ailleurs, que la différence de température de l'air, l'entrée et à la sortie de la cloche traduit les phases de la thermogénèse. On peut suivre, avec ce dispositif, et montrer instantanément à un nombreux auditoire, les oscillations de la production de chaleur qui échapperaient à tout autre instrument.

Ce dispositif est applicable à l'homme (fig. 25 bis).

Étuve à température constante aana gaz ni régulateur

(Société de Biologie, 22 avril 1882)

Cet appareil, imaginé pour des recherches faites à la campagne, donne des températures absolu- N° 24
ment fixés avec une source de chaleur quelconque (veilleuse, lampe, bougie, etc.).

Il est basé sur l'ébullition des liquides volatiles à basse température, comme l'éther sulfurique

qui bout à 35°,5 et dont on relève le point d'ébullition au degré voulu, par des mélanges en proportions convenables d'éther et de chloroforme ou d'éther et d'alcool.

Il se compose d'une étuve dont la double paroi contient le liquide volatil chauffé à l'ébullition par une lampe. La vapeur, se rend à un serpentin renfermé dans un vase parcouru par un courant d'eau froide. La vapeur condensée retombe constamment dans le vase et la température reste fixe, on le comprend, quelle que soit l'ardeur du foyer.

Régulateur de température pour le chauffage par le gaz, la vapeur sous pression, l'eau bouillante ou les combustibles liquides

(Voir *Notice de Wiesnegg*, du 11 juin 1877)

N° 25 Cet appareil, *entièrement métallique*, se compose d'un réservoir 1, de forme variable, contenant un liquide dilatable, hermétiquement clos (fig. 25).

Les variations de volume agissent sur une membrane métallique 2, de baromètre anéroïde, qui

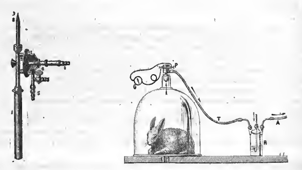


Fig. 25 et 25 bis

règle le passage du combustible (gazeux ou liquide) arrivant au régulateur par le tube 4, et se rendant au foyer par le tube 5.

Cet instrument est réglé d'avance, pour toutes, par le constructeur, pour une température déterminée. Les premiers installés, en 1876, au laboratoire de M. Pasteur, fonctionnent encore régulièrement.

Faits observés sur les animaux, à l'aide du calorimètre enregistreur

Toutes les observations qui suivent sont consignées dans des tracés graphiques fournis par le calorimètre, sans aucune retouche. Elles forment un volumineux registre que je tiens à la disposition des personnes qne ces questions pourraient intéresser. Je n'ai pas fait clicher ces tracés dont le nombre aurait entraîné des dépenses considérables. Ces courbes donnent les calories développées par l'animal en expérience, en fonction du temps. Presque toutes ont été obtenues à l'aide du mon premier calorimètre représenté figure 4 de la présente notice.

1° Influence du poids et de la taille sur la thermogénèse animale

(Travaux du laboratoire de Marey, 1878-79, et Société de Biologie, 1880 et 1884)

N° 26 Avant mes expériences, on considérait *la production* de chaleur comme variable suivant les espèces animales, et, *pour une même espèce*, on s'accordait à admettre que les petits animaux, à égale

température centrale, doivent produire relativement plus de chaleur que les gros. Cependant on n'avait aucune donnée certaine, la calorimétrie, seule, pouvant fournir, à cet égard, des mesures précises. Mes expériences m'ont démontré que pour *un même poids* d'animal, la chaleur produite est simplement fonction de la surface.

2° Influence de l'espèce animale

(Travaux du laboratoire de Marey, 1878-79)

On n'avait, avant ce travail, aucune idée certaine sur la production de chaleur correspondant à un même poids d'animaux d'*espèces différentes*. N° 27

La mesure de la température centrale peut à peine donner une présomption en faveur de l'activité de la thermogénèse. Les oiseaux qui ont, dans le cloaque, une température voisine de 42° centigrades ne sont peut être pas plus producteurs de chaleur que les mammifères, dont la chaleur centrale est moindre d'environ 4°.

La haute température des oiseaux peut tenir à la moindre conductibilité de leur plumage, qui

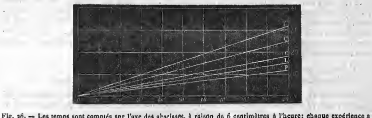


Fig. 26. — Les temps sont comptés sur l'axe des abscisses, à raison de 6 centimètres à l'heure; chaque expérience a durée 1 h. 40 minutes. Les calories se comptant sur l'axe des ordonnées, à raison de 1 millimètre par calorie. — P, courbe calorigraphique de la poule; L, du lapin; C, du chat; C', du chien; C'', des Cobayes.

constitue pour eux une protection contre les causes de refroidissement plus parfaite que le poil de certains animaux.

Pour faire des expériences rigoureusement comparatives, il fallait mettre dans le calorimètre des animaux de poids égal, mais d'espèces différentes. C'est ce que j'ai fait en opérant sur cinq espèces différentes d'animaux : chien, poule, cobaye, lapin, chat.

Le tableau suivant donne les poids et les températures rectales de ces cinq animaux.

Espèces	Poids	Température rectale
Chiens	2,700 kil.	38°,2
Poule	1,400	41 ,6
Cobayes	1,950	38 ,1
Lapin	1,925	36 ,7
Chat	3,600	n'a pas été prise

Les courbes calorigraphiques recueillies sur ces espèces d'animaux sont représentées dans la figure 26.

On voit que la poule a produit moins de chaleur que les autres animaux ; son poids, il est vrai, était plus faible, mais, en tenant compte de cette infériorité, on peut conclure que la production de chaleur n'est pas plus grande pour elle que pour le lapin. La haute température du cloaque doit donc s'expliquer par la conservation plus parfaite de la chaleur produite, grâce à l'abri que constitue le plumage.

En comparant la production de chaleur des cobayes à celle des lapins qui représentaient sensiblement le même poids, on voit que les cobayes font, à poids égal, au moins deux fois autant de chaleur que les lapins.

3° Influence du tégument externe

N° 28 Cette influence résulte simplicitement de l'expérience ci-dessus qui montre que la plume protège mieux que le poil, puisque, à surface égale de déperdition, la poule a perdu moins que le lapin, bien qu'elle eût une température de 4 degrés plus élevée. J'ai constaté le même fait en coupant le poil à des lapins, ou en les enduisant d'huile comme on le verra plus bas.

4° Influence de la température du milieu ambiant

(Société de biologie, 1884)

N° 29 Il faut, pour apprécier cette influence, que la température du milieu où est l'animal reste évidemment constante. Ma méthode calorimétrique seule donne ce résultat.

La production est, en général, proportionnelle à l'abaissement de la température extérieure, entre 0° et 15°, mais cette proportionalité n'est pas rigoureuse. Aux basses températures, l'animal produit proportionnellement moins, bien que sa température centrale reste la même. Cela prouve que sa surface de déperdition *physiologique* n'est pas constante comme sa surface *physique*. Par conséquent, la connaissance de la surface *géométrique* d'un animal n'est pas suffisante pour qu'on en puisse déduire sa perte par rayonnement. Il faut tenir compte aussi de l'état de la circulation périphérique. *L'animal lutte donc contre le froid de deux façons* :

1° En diminuant sa circulation périphérique ;

2° En augmentant par son système nerveux l'intensité des combustions organiques.

Au-dessus de 20 degrés, il n'en est pas ainsi, *l'animal n'est plus maître de la production qui augmente avec la temperature du milieu ambiant.* Pour lutter contre l'élévation de température, il n'a plus qu'un moyen : *augmenter la perte* par dilatation vasculaire périphérique et par évaporation.

Le calorimètre montre pour ce fait intéressant que *nous sommes beaucoup mieux armés pour lutter contre le froid que contre la chaleur.*

5° Influence de la pression barométrique

(Biologie, 1884 et cours du collège de France, 1886)

N° 30 Je n'ai pas pu étudier l'influence de l'augmentation de pression; n'étant pas outillé pour cela. J'ai dû, en conséquence, remplacer la pression en faisant respirer à l'animal de l'oxygène pur.

Constamment, j'ai observé une diminution marquée dans la thermogénèse, surtout au début de l'expérience.

En passant d'une pression de 760 millimètres à 500 millimètres, je n'avais pas constaté de résultats bien marqués sur le cobaye et le lapin ; mais en reprenant ces expériences dans mon cours de l'hiver 1886, et en poussant la dépression jusqu'à 200 millimètres, j'ai vu la *diminution de pression* coïncider avec *une diminution très notable* dans la production de chaleur.

Le fait est intéressant au point de vue des habitants des hauts plateaux et de l'aérothéraphie.

6° Influence de la composition gazeuse du milieu

(Société de biologie, 1884)

N° 31 J'ai constaté que l'asphyxie brusque ou l'asphyxie par l'acide carbonique pur augmente beaucoup la *production* de chaleur. Lorsque, au contraire, on fait respirer à l'animal une atmosphère ne contient que 5 à 10 o/o d'acide carbonique, la production de chaleur est notablement diminuée.

7° Influence de l'abstinence

(Société de biologie, 1881)

L'abstinence agit d'une façon absolument différente chez les mammifères et chez les oiseaux. Au bout de 12 heures d'abstinence, la production a notablement diminué chez une poule et des pigeons ; après 36 heures la production chez la poule était tombée à moitié. Chez un chien, la production, après 36 heures, avait seulement diminué d'un cinquième ; chez quatre cobayes, la production était encore la même au bout de 48 heures. Cette observation coïncide bien avec ce fait connu que les oiseaux ont besoin de manger plus souvent que les mammifères. N° 32

8° Influence de la digestion

(Société de biologie, 1880 et 1884)

Chez les animaux que j'ai expérimentés (chiens, lapins, pigeons, cobayes, poules), la production de chaleur a augmenté notablement pendant les deux premières heures environ qui suivent le repas, cette augmentation a été même de plus de moitié sur un chien à jeun depuis 24 heures. N° 33

8° Influence de la lumière

(Biologie, 1880)

J'ai nettement constaté, mais chez les oiseaux seulement jusqu'à présent, une diminution dans la production de chaleur, sous l'influence de l'obscurité complète. Peut-être cela tient-il seulement à ce que ces animaux cessent tout mouvement dans l'obscurité, ce qui n'a pas lieu, en général, pour les mammifères. N° 34

10° Influence des enduits et vernis appliqués sur la peau

(Biologie, 1881 et 1884)

Les animaux à fourrure (lapins, cobayes) qu'on recouvre d'huile, de glycérine ou de dextrine présentent un notable abaissement de la température centrale au thermomètre, ce qui avait fait dire que chez eux la production de chaleur diminuait sous cette influence. N° 35

Le calorimètre m'a montré précisément le contraire. Cet abaissement de la température coïncide au contraire, avec une production exagérée, ainsi sur un lapin qui produisait 18 calories à l'heure, à l'état normal, en dégageait 35 après avoir été frotté d'huile d'olive, un autre qui dégageait 10 calories, en a dégagé 28 après avoir été frotté d'huile de lin. Ces diverses expériences m'ont montré que les enduits, et surtout l'huile de lin, augmentait considérablement le rayonnement d'un animal. Dans ces conditions, on peut dire que les animaux meurent de froid parce que la production de calorique est insuffisante à compenser la déperdition. Ces faits pourraient expliquer pourquoi certaines populations (nègres) exposées à de hautes températures, ont toujours une sécrétion huileuse de la peau et pourquoi l'application d'une couche d'huile sur une brûlure superficielle, calme la douleur comme une application de froid. Cet exemple est typique également pour montrer combien le thermomètre est capable de nous induire en erreur sur les variations de la thermogénèse.

11° Influence de l'incubation et du développement

(Académie des Sciences, juillet 1881, et biologie, 18 juin 1881)

Le calorimètre m'a montré, d'une manière directe, que l'œuf de poule en incubation ne se comporte pas comme un corps inerte. Pendant toute la première semaine environ, il *absorbe* beaucoup de chaleur pour en dégager, au contraire, à la façon d'un être vivant vers la fin de l'incubation, avant l'éclosion du poussin. N° 36

12° Variation du pouvoir émissif de la peau humaine

(Biologie, 1881)

N° 37 Par la *calorimétrie locale*, j'ai montré, qu'à *surface égale*, il n'est pas deux points de la peau qui rayonnent des quantités égales de chaleur. De plus, le rayonnement d'une même surface change d'un moment à l'autre. C'est la preuve éclatante de l'indépendance absolue des circulations locales.

Donc, toute méthode qui voudrait évaluer la production de chaleur par la mesure des surfaces de déperdition, comme on le fait en physique pour les corps bruts, ferait fausse route. Une même surface, dont l'excès de température sur le milieu ambiant, reste constant, perd par moitié de temps une même quantité de chalecr. C'est un fait évident quand on considère une surface inanimée quelconque.

J'ai constaté qu'il en était autrement pour la peau humaine (biologie, 29 novembre 1884). Pour cela, j'ai mesuré à la fois la température locale de la peau de l'avant-bras et la chaleur rayonnée par un cercle de 5 centimétres de diamètre de cette peau. Or, à *température superficielle egale*, j'ai obtenu des nombres variant du simple au double. Ce fait ne pouvait s'expliquer qu'en admettant que la sécrétion cutanée modifie *le pouvoir émissif* de la peau. J'ai vérifié cette hypothèse en mesurant ce pouvoir au moyen da la pile Melloni et du galvanomètre. Le pouvoir émissif varie du simple au donble en enduisant la peau d'un corps gras. Une conséquence importante à tirer de ce fait, c'est qu'on ne peut pas affirmer qu'il y ait hypergénèse thermique alors même que la thermogénèse montrerait une hyperthermie à la fois centrale et superficielle, car cette double augmentation peut néanmoins s'accompagner d'une perte moindre (et, par conséquent d'une production moindre), si le pouvoir émissif de la peau a subi un changement en sens inverse. Cette expérience montre, une fois de plus, combien la thermométrie est infidèle pour constater les variations de la *production* de la chaleur animale, le thermomètre nous renseigne exclusivement sur sa *répartition*.

13° Influence de la fièvre

N° 38 J'ai provoqué un état fébrile, expérimentalement, chez des animaux, en 1881, en injectant dans une patte de l'ammoniaque liquide ou des liquides virulents (culture charbonneuse) extrêmement actifs et que je devais à l'obligeance de M. Pasteur. Malgré une élévation très notable de la température centrale, j'ai constaté, par le calorimètre, que la *production* de chaleur avait à peine varié. Les théories de la fièvre (variations exclusivement dans la *répartition* de la chaleur) dûes à Traube et à Marey, sembleraient donc recevoir une confirmation du fait de ces expériences négatives. Les faits cliniques observés récemment par MM. Albert Robin el Hénocque dans la fièvre typhoïde, montrent que les oxydations sont diminuées dans cette maladie et plaident dans le même sens. Un de mes élèves fait en ce moment des observations chez les typhiques, au moyen du calorimètre.

14° Influence du froid et des irritations cutanées

(Biologie 1881 et 1884)

N° 39 L'influence *momentanée et de très courte durée* du froid (immersion dans l'eau glacée, pulvérisation d'éther, de chlorure de méthyle) sur la surface cutanée, amène une diminution passagère de la thermogénèse, mais, après 5 ou 10 minutes, la production augmente énormément chez le lapin et chez le chien.

On obtient le même effet en irritant un point, *même assez limité*, de la peau par un procédé quelconque (douche de sable chaud, fustigation, etc.) Il est très probable que l'hydrothérapie agit chez l'homme, par ce mécanisme réflexe.

15° Coefficient de partage thermiqne

(Biologie 1884)

La chaleur cédée au calorimètre par l'animal, provient de deux sources différentes, savoir : la N°
peau et le poumon. La peau perd par rayonnement, contact direct et évaporation, le poumon seulement par contact et évaporation.

J'ai appelé *coefficient de partage thermique*, le rapport entre ces deux quantités. J'ai trouvé pour l'homme la valeur suivante : sur 100 calories perdues, 20 à 25 seulement sont le fait du poumon.

16° Influence des anesthésiques (chlorotorme, ether)

(Société de Biologie)

J'ai montré, à l'aide de l'appareil de la figure 25 bis, que les moindres traces de vapeurs anesthé- N° 41
siques (éther, chloroforme) dans l'air respiré par un animal, suffisaient pour amener un abaissement rapide dans la production de la chaleur.

17° Causes d'erreur de la calorimétrie par rayonnement, moyens pour les éviter. Critique expérimentale

(Société de biologie, 27 décembre 1884)

Dans cette note, j'ai fait, avec beaucoup de soin, la critique expérimentale de ma méthode de N° 42
calorimétrie par rayonnement.

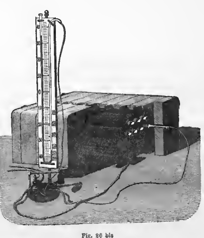
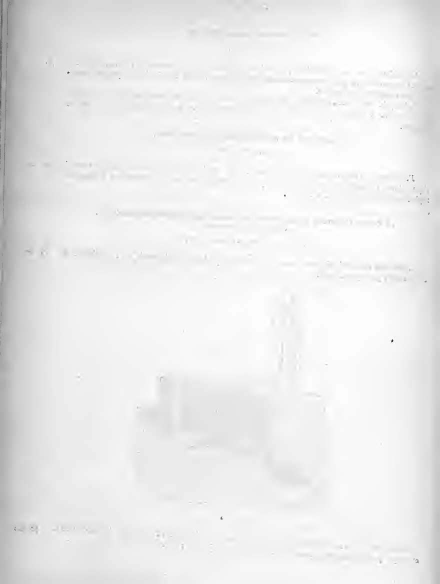


Fig. 26 bis

La figure 26 bis représente l'appareil décrit figure 13, appliqué au chauffage des tubes scellés N° 43
employés par les chimistes. (Académie des Sciences, 10 janvier 1888).



Section II

ÉLECTRICITÉ ET ÉLECTRO-PHYSIOLOGIE

NERFS ET MUSCLES

Topographie calorifique : sondes thermo-électriques, galvanomètre, point fixe, etc.

(Société de biologie 1880, et Claude Bernard: Leçons de physiologie opératoire, 1878)

Claude Bernard ayant repris, en 1877, ses expériences sur la topographie calorifique du système sanguin, me chargea d'installer toute la partie instrumentale. N° 44

Pour rendre ces expériences faciles à répéter et enlever les causes d'erreur provenant des appareils, je dus modifier les sondes et le galvanomètre. Jusqu'alors, on ne pouvait mesurer que des différences de température ; en imaginant des appareils à température constante très précis, il nous fut facile de mesurer les températures *en valeur absolue* par le galvanomètre. Il suffisait, pour cela, de plonger une des soudures thermo-électriques dans l'étuve portée à la température du corps de l'animal. Un modèle très réduit de l'étuve représentée figure 1 remplit parfaitement le but. Depuis, j'ai encore simplifié le procédé en me servant de l'appareil par ébullition d'éther. Ce liquide, mêlé à une certaine quantité de chloroforme, bout exactement à 37°, température physiologique par excellence. On a ainsi l'avantage de supprimer tout régulateur et de pouvoir se passer du gaz qu'on n'a pas toujours à sa disposition. Sur mes conseils, ce procédé a été adopté par bon nombre d'expérimentateurs, parmi lesquels je peux citer Frédéricq de Gand, Héger de Bruxelles, le Dr Redard de Paris, etc

Le galvanomètre doit être très sensible et donner des indications rapides. Le grand défaut des galvanomètres employés jusque là, consistait dans leur paresse et la longue durée de leurs oscillations. Je supprimai ces deux inconvénients en adoptant un modèle particulier d'instrument, analogue au galvanomètre de Thomson, dont je supprimai complètement les oscillations en faisant plonger l'aiguille aimantée inférieure dans un bain de pétrole. Cet amortisseur liquide est excellent : l'aiguille, déplacée par le courant, va prendre sa position d'équilibre sans la moindre oscillation ; et, par la nature même du liquide, se trouve à l'abri de l'oxydation. N° 45

Les sondes thermo-électriques ont également reçu une disposition nouvelle qui rend absolument inutile de les entourer d'une gaîne isolante. Le métal qui les forme plonge directement dans le sang ou le tissu dont on veut prendre la température, sans qu'on ait à redouter la moindre action chimique comme cela arrivait lorsqu'on se servait de sondes composées de deux fils parallèles, de métaux différents. N° 46

Pour cela, j'ai disposé un des métaux, sous forme de tube, autour du second métal qui entre dans ce tube à la façon d'un mandrin isolé, jusqu'au point où se fait la soudure thermo-électrique.

Les deux métaux qui m'ont donné le meilleur résultat sont le couple fer-nickel et surtout le couple fer-cobalt, dont la force électromotrice, pour une même différence de température, est bien plus élevé que les couples fer-cuivre ou fer maillechort, employés jusque là. Ces sondes que j'ai appelées *sondes à soudure termino-cylindrique*, n'ayant pas besoin de gaîne isolatrice, peuvent se faire d'un diamètre bien plus faible que les autres et pénétrer, sans inconvénients, dans la profondeur des tissus, même chez l'homme. Sous forme d'aiguilles piquantes, leur volume ne dépasse pas celui d'une aiguille de Seringue de Pravaz. Avec ce dispositif, on n'a plus à craindre les courants hydro-électriques qui faussaient les indications du galvanomètre, puisqu'on n'a plus qu'un seul métal en

contact avec le tissu à explorer. Il est avantageux de réunir les sondes jumelles par un fil central unique ; on est ainsi à l'abri de toutes les causes d'erreur qui pourraient provenir de l'hétérogénéité du circuit.

N° 47 Je suis arrivé au même résultat en employant deux fils parallèles (fer-nickel) et en les recouvrant, après les avoir soudés à leurs extrémités, d'une couche de nickel déposée par la galvanoplastie. Dans ce cas, on n'a également à l'extérieur qu'un seul métal bien homogène, mais l'appareil a une forme moins commode pour pénétrer dans les vaisseaux. Les figures ci-contre expliquent suffisamment ces différentes dispositions (fig. 27).

N° 48 Sous le nom de *comparateur thermo-électrique*, j'ai décrit et fait fonctionner dans mes leçons sur la chaleur animale au collège de France (voir rapport de Marey pour le prix de physiologie, 1881, à l'Institut) un appareil qui permet de coupler les sondes thermo-électriques deux à deux et d'avoir ainsi rapidement et presque simultanément, les différences de température entre les parties les plus variées du corps.

N° 49 J'ai condensé dans un schéma simple, le résultat des expériences entreprises avec Claude Bernard, à l'aide de ces différents appareils, sur la topographie calorifique. Ces expériences n'ont

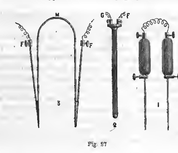


Fig. 27

été publiés qu'après la mort de l'illustre physiologiste, grâce aux notes que j'ai pu remettre à M. Mathias Duval (voir Claude Bernard : *Leçons de physiologie opératoire*, 1878).

Production de chaleur dans le muscle, en l'absence de toute contraction

(Biologie, 13 mars 1886)

N° 50 En excitant le sciatique, *tenant encore à la moëlle*, chez la grenouille, par des courants induits beaucoup trop faibles pour amener une contraction du gastrocnémien, j'ai constaté, à l'aide de mes appareils thermo-électriques, que ce muscle s'échauffe d'une façon appréciable. La circulation était supprimée et on ne pouvait invoquer un effet vaso-moteur pour expliquer ce changement de température qu'on n'observe pas non plus quand le sciatique est coupé ou la moëlle épinière détruite, ce fait est à rapprocher de celui trouvé par M. Brown Séquard, relativement à l'influence inhibitrice des courants induits, trop faibles pour amener une contraction du muscle et suffisants néanmoins pour diminuer l'irritabilité du nerf. Cette expérience me semble démontrer l'indépendance de la production de chaleur et de la contraction musculaire. En un mot, s'il ne peut y avoir contraction sans changement de température dans le muscle, la réciproque n'est pas vraie, en l'absence de toute circulation, bien entendu.

Origine de la chaleur animale

(Cours du Collège de France, 1882-83, et biologie, 13 juin 1885)

N° 51 On admet généralement que la chaleur animale est le résultat *direct* et *primitif* des combustions organiques, on croit même que le muscle transforme directement cette chaleur en travail mécanique,

comme une véritable machine thermique. Pour bien des raisons, je crois cette doctrine fausse, et qu'au contraire, l'apparition de la chaleur est un phénomène de seconde main. La réaction chimique engendrerait d'abord un courant électrique et la chaleur ne serait que le résultat d'une seconde transformation de l'électricité en chaleur, suivant la loi de Joule qui règle cette transformation. Le muscle serait bien plus un transformateur électrique de l'énergie chimique, qu'un transformateur thermique. La chose est évidente quand on considère ce muscle modifié qui s'appelle organe électrique chez la torpille, le gymnote et quelques autres poissons. Dans le muscle lui-même, au moment de la contraction; les manifestations électriques précèdent l'apparition de la chaleur. C'est là, d'ailleurs, un mécanisme de production de la chaleur commun, d'après moi, à toutes les réactions chimiques, et que met en évidence l'action de l'eau acidulée sulfurique sur le zinc. Si on fait agir l'eau acidulée sur le zinc *ordinaire*, la réaction chimique semble dégager *immédiatement et directement* de la chaleur. Il n'en est rien pourtant, car l'attaque n'a lieu que parce que le zinc contenait des impuretés, il se forme une foule de petites piles locales, fermées sur elles-mêmes au sein du liquide, et dont les courants particuliers se transforment en chaleur, suivant la loi de Joule (chaleur = $R\,I^2$). La preuve c'est qu'on peut faire apparaître cette chaleur *en dehors du vase* en supprimant ces couples locaux par l'emploi du zinc pur qui n'est attaqué par l'acide qu'autant qu'on l'accouple à un métal moins oxydable que lui. L'apparition de la chaleur a donc été *précédée* par le dégagement électrique. Ce phénomène est absolument général, car, par des dispositions appropriées, on peut obtenir un courant électrique par n'importe quelle réaction chimique. Mais beaucoup de ces réactions se comportent à la façon du zinc impur, *on ne peut dériver le courant électrique qu'elles engendrent, dans un circuit extérieur*; et alors la chaleur *semble* être le résultat *unique* et *primitif* de la réaction, alors qu'elle n'est qu'un phénomène secondaire corrélatif de la disparition d'électricité.

La chaleur serait donc simplement un *résidu* de la contraction musculaire et non la *source* de cette contraction,

J'ai été très heureux de voir M. Chauveau arriver tout récemment (voir *Revue Scientifique*, 1888 à la même conclusion, en s'appuyant sur des considérations d'un ordre tout différent.

Électrodes impolarisables pour l'étude de l'électricité animale

(Biologie, 2 mai 1885)

Avec les électrodes habituellement employées (zinc-sulfate de zinc) et dont le principe est dû à J. Regnauld, on est obligé d'empêcher le contact du tissu avec la solution de sulfate de zinc en interposant un corps poreux ou plastique imprégné d'une solution à 6 pour 1000 de chlorure de sodium, N° 52

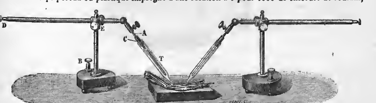


Fig. 28

solution qui a la propriété de ne pas attaquer le tissu organique. Les électrodes ainsi constituées ne sont pas *homogènes*, c'est-à-dire qu'elles donnent une déviation au galvanomètre alors même qu'elles sont réunies par un conducteur ne présentant aucune force électromotrice. J'ai reconnu que cette non homogénéité provenait des courants électro-capillaires qui prennent naissance aux points de séparation des deux solutions : chlorure de sodium et sulfate de zinc. Le seul moyen de remédier à ce grave inconvénient était donc de trouver des électrodes à la fois *impolarisables* et *insolubles* dans la solution physiologique de chlorure de sodium.

Un fil d'argent recouvert de chlorure d'argent fondu remplit ces deux conditions.

Mes électrodes se composent simplement, ainsi qu'on peut le voir sur la figure 28, d'un tube de verre effilé en pointe, rempli de la solution physiologique, dans laquelle trempe le fil d'argent chloruré. Ces électrodes peuvent recevoir les formes les plus variées. On peut même les mettre directement en contact avec les liquides de l'organisme qui contiennent normalement du chlorure de sodium; le chlorure d'argent, à cause de son insolubilité, est sans action sur les tissus.

En leur donnant la forme d'une aiguille à acupuncture, on peut enfoncer sans aucun inconvénient ces électrodes dans les muscles ou les tissus de l'homme vivant. J'ai pu ainsi constater sur moi-même le courant de repos et la variation négative lors de sa contraction du muscle biceps.

Nouveau galvanomètre à circuit mobile

en commun avec M. Deprez

(« La Lumière Electrique », 7 septembre 1881)

N° 53 Cet appareil diffère de tous les instruments portant le même nom en ce que *c'est le courant qui est mobile et non l'aimant.* Il en résulte deux grands avantages :

1° L'instrument ne peut plus être influencé, soit par le magnétisme, soit par le voisinage des corps magnétiques ;

2° Il est absolument *apériodique* et *instantané*, c'est-à-dire que, traversé par un courant, il prend

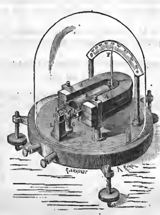


Fig. 30

immédiatement sa position d'équilibre sans aucune oscillation, propriétés très précieuses en électrométrie.

J'ai imaginé cet instrument en apportant de profondes modifications à un galvanomètre inventé par M. Deprez et dans lequel le courant n'était nullement mobile. M. Deprez, tout en décrivant cet instrument sous nos deux noms, m'a rendu d'ailleurs pleine justice dans les termes suivants (voir *La Lumière Électrique* du 7 septembre 1881) :

« Pour satisfaire à ces conditions (rapidité et sensibilité) qui, au premier abord, paraissent inconciliables, M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée d'apporter à mon galvanomètre une modification qui

n'en change pas le nombre des organes, mais qui permet de rendre la force antagoniste aussi faible qu'on veut, tout en augmentant l'action mécanique du courant sur l'aiguille, M. d'Arsonval a été conduit à cette disposition en remarquant que cette action mécanique est accompagnée d'une réaction égale et contraire de l'aiguille sur le courant, et que, par conséquent, *si l'on fixe l'aiguille et qu'on rende le courant mobile*, on n'altère pas le moment de l'effort exercé par le cadre galvanométrique sur l'aiguille, tandis que l'effet antagoniste est annulé ».

La mobilité du courant : toute l'invention est là, en effet, comme le dit M. Deprez.

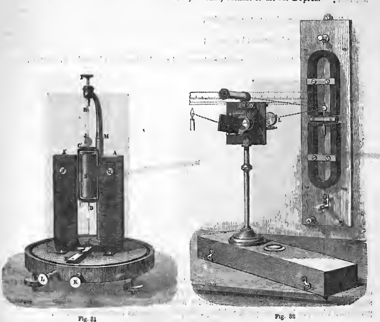


Fig. 31 Fig. 32

L'instrument primitif se composait (fig. 30) :

1° D'un aimant permanent A A ;

2° D'un tube de fer doux B, occupant presque toute la longueur de l'aimant ;

3° D'un cadre C D E C, mobile en E et J, autour de deux couteaux dont les arêtes coïncident avec l'axe du tube et sont supportées par le pilier G. Ce cadre reçoit le courant par deux fils I, I, dont les extrémités coïncident aussi avec l'axe du tube (de façon à rester immobiles quand le cadre tourne) et trempent dans les godets H contenant du mercure ;

4° Une aiguille E E légère, se mouvait devant un cadran divisé. On obtient la force antagoniste, comme dans une balance, en abaissant plus ou moins le centre de gravité. Le cadre se fait à fil gros ou à fil fin, suivant les besoins.

La sensibilité de cet instrument est de tout point comparable à celle des meilleurs galvanomètres astatiques de Melloni.

Dans le modèle représenté (figure 31, le galvanomètre a été disposé verticalement. Les couteaux et les godets à mercure sont supprimés. Le cadre galvanométrique mobile C C' est suspendu dans l'intervalle laissé par l'aimant A A' et le tube de fer doux B, au moyen de deux fils fins en argent, l'un supérieur J H, l'autre inférieur C E, les deux fils, fortement tendus, remplissent une triple fonction :

1° Ils servent d'axe de rotation au cadre ;

2° Ils lui amènent le courant à mesurer ;

3° Leur tension développe un couple résistant qui sert de mesure à l'intensité du courant.



Fig. 33

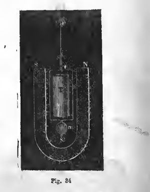


Fig. 34

Le cadre porte un miroir argenté qui permet de faire la lecture des déviations optiquement avec une grande précision. Cet instrument, absolument apériodique et très sensible, est universellement adopté aujourd'hui, par les électriciens, dans les mesures industrielles, pour ces raisons, et aussi parce qu'il n'est pas influencé par le voisinage des plus puissantes machines dynamos.

Galvanomètre à circuit mobile pour les recherches de physiologie

(Société de physique et « La Lumière Electrique »)

N° 54 Les modèles précédents n'étaient pas tout à fait assez sensibles pour certaines expériences d'électro-physiologie ou de chaleur animale, j'ai été ainsi amené à imaginer le dispositif en perspective figure 32 et, en coupe, figure 33.

Dans ce modèle, le grand axe du cadre galvanométrique est dirigé horizontalement, de façon à augmenter le bras de levier ; de plus, ce cadre est noyé dans quatre champs magnétiques très-puissants obtenus au moyen de deux gros aimants er fer à cheval qui se regardent par les pôles de même nom et qui sont séparés par un prisme de fer doux, autour duquel tourne le cadre mobile. Les actions de ces quatre champs sont concordantes et tendent à dévier le cadre dans la même direction. La suspension du cable est la même que dans la figure 31, mais le fil est beaucoup plus long et des vis permettent de le changer à volonté.

La lecture des déviations se fait comme ci-dessus, cet instrument se fixe simplement au mur, à l'aide d'un clou.

Thermo-galvanomètre

(Société de physique et *La Lumière Electrique,* 3 avril 1886.)

J'ai imaginé cet appareil en vue de mesurer la chaleur rayonnante. Sa forme dérive du galvanomètre décrit figure 34. Il se compose d'un aimant en fer à cheval S N et du tube de fer doux T dont l'ensemble constitue le double champ magnétique de l'instrument. Un cadre métallique C, suspendu par un fil de cocon O, peut se mouvoir dans le champ. Ce cadre est composé de deux moitiés symétriques faites de métaux différents. N° 55

La moitié gauche, par exemple, est un fil d'argent; la moitié droite, un fil de palladium, ces deux

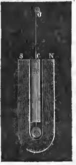


Fig. 35

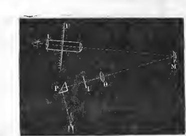


Fig. 36

moitiés se soudent l'une à l'autre en S S'. On a ainsi un circuit thermo-électrique traversé par un courant si les deux soudures S et S' ne sont pas à la même température.

La pile et le galvanomètre sont un seul et même appareil. L'équipage est orienté par un petit brin de fil de fer fixé au cadre. Le miroir M sert à lire les déviations et protège la soudure S' contre le rayonnement. On concentre, au contraire, sur la soudure supérieure S les rayons calorifiques émanant de la source à étudier. L'appareil est absolument apériodique et aussi astatique qu'on veut. Sa sensibilité est des plus grandes, l'inertie est très faible, et les indications instantanées.

La figure 35 représente le même appareil encore plus simple. Le tube de fer est supprimé, et le couple thermo-électrique se compose simplement de deux fils métalliques (argent-palladium) soudés à leurs extrémités et suspendus au fil de cocon en O.

Échelle micrométrique pour la mesure des faibles déviations angulaires

(Société de physique et *La Lumière Electrique.*)

Cet appareil permet de mesurer avec une grande précison les plus faibles déviations angulaires. C'est là un double avantage: N° 56

1° Parce que les indications sont beaucoup plus rapides;

2° Parce que les déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités.

La figure schématique n° 36 représente le principe optique de l'appareil. Un prisme ou un miroir P éclaire vivement une échelle l divisée sur verre en vingtièmes de millimètre. Le miroir concave M du galvanomètre, combiné avec la lentille O, donne une image réelle de cette échelle, on observe cette image aérienne à l'aide d'un microscope L qui en donne une image très agrandie en l'. L'image donnée par le miroir M devant supporter des grossissements de vingt à cent diamètres, j'ai dû donner à ce miroir une forme spéciale.

On voit que *la sensibilité du galvanomètre est ainsi augmentée optiquement dans la proportion du grossissement.* Avec un grossissement de vingt diamètres, on apprécie, avec la plus grande facilité, une déviation de 1/400 de degré du cercle.

Cette échelle est représentée en perspective figures 32 et 40. Le tout est monté sur un pied unique. L'échelle micrométrique est placée entre le miroir éclaireur et la lentille L. L'oculaire grossissant se trouve au-dessus, comme on le voit sur la figure.

L'échelle micrométrique et le microscope sont mobiles. En remplaçant cette échelle micrométrique par un simple fil vertical, et l'oculaire par une échelle transparente divisée sur celluloïde figurée en pointillé sur le dessin (figure 32), on transforme l'appareil en une échelle transparente de Carpentier, commode lorsqu'on n'a pas besoin de toute la sensibilité de l'appareil.

Ampèremètre à déviations proportionnelles

N° 57 Cet instrument inédit a figuré, en 1882, à la séance de Pâques de la Société de physique. Il figurait dans l'exposition de M. Ducretet à qui j'en avais confié la construction. Il peut mesurer les plus

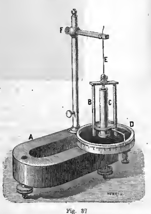


Fig. 37

forts courants (plusieurs centaines d'ampères), et ses déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités, *quelle que soit la déviation angulaire.* Il est basé sur la rotation des courants par les aimants.

Il se compose (fig. 37) d'un aimant en fer à cheval A couché horizontalement sur trois vis calantes. Sur l'un des pôles s'élève verticalement une tige de fer doux C, portant à sa partie supérieure un godet plein de mercure et, à sa base, une cuvette D en caoutchouc durci, également pleine de mercure, qui ne la touche pas. Sur l'autre pôle s'élève une colonne F qui porte une potence mobile à laquelle est suspendu, par un fil de torsion E, un pont métallique B qui trempe dans les deux godets à mercure.

En faisant entrer le courant par la colonne centrale, ce courant descend le long des branches B du pont pour ressortir par la cuvette inférieure pleine de mercure. Ce courant prendrait un mouvement de rotation continu autour du pôle C si la torsion du fil E n'arrêtait pas le mouvement. On mesure la déviation angulaire sur la circonférence de la cuvette graduée *ad hoc* et il est facile de voir que ces déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités, quelle que soit la déviation. C'est là une propriété très précieuse que l'on recherche dans tous les appareils de mesure.

Galvanomètre à déviations proportionnelles dans l'étendue d'une circonférence

Cet instrument dérive du précédent et est surtout précieux pour la mesure des courants employés en électrothérapie. N° 58

L'instrument décrit figure 37 ne s'applique qu'aux forts courants parce qu'on ne peut pas multi-

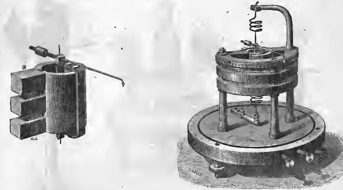


Fig. 38 et 39

plier la longueur du conducteur mobile en l'enroulant sous forme de cadre, le courant devant avoir *la même direction* dans les deux branches mobiles pour que la rotation soit possible.

J'ai tourné cette difficulté par l'artifice suivant que représente bien la figure 38. Le cadre mobile est composé d'un fil roulé un grand nombre de fois sur lui-même ; mais je soustrais un des côtés du cadre à l'action du champ magnétique en prenant un *tube aimanté* dans l'intérieur duquel un des côtés du cadre est enfermé. L'axe de rotation de ce cadre coïncide avec ce côté et le centre du tube.

Pour renforcer le champ magnétique, je dispose l'instrument comme le montre la figure 39. Le côté mobile du cadre est noyé dans un champ magnétique annulaire d'égale intensité en utilisant les deux pôles de l'aimant. La suspension du cadre a lieu au moyen de deux ressorts en spirale qui remplacent les fils de suspension des appareils précédents et jouent le même rôle qu'eux.

Cet instrument est également apériodique et insensible au voisinage des corps magnétiques. Il est à lecture directe.

Galvanomètre apériodique à aimant mobile

(« La Lumière Électrique » 30 avril 1887.)

Cet appareil, à aimant mobile, est également apériodique. Il est une modification de l'appareil de Wiedemann. L'équipage mobile se compose (fig. 40) d'un aimant en fer à cheval en forme d'A tronqué, mobile dans l'intérieur d'une sphère de cuivre rouge qui constitue un amortisseur très éner- N° 59

gique. Cet aimant est suspendu à une tige métallique surmontée d'un miroir concave qui peut tourner autour de cette tige de façon à s'orienter dans tous les azimuts.

Tout le système vient s'sttacher par un crochet à l'extrémité d'un long fil de cocon qui s'enroule sur un treuil T (fig. 41) surmontant le tube, une bonnette B munie d'une glace plane permet de viser le miroir C dans toutes les positions.

Le circuit se compose de 2 bobines D D' symétriquement placées par rapport à l'aimant logé en A. Ces bobines sont mobiles le long d'une règle divisée. En les éloignant plus ou moins de la sphère A on change à volonté la sensibilité de l'instrument. On peut également retirer complètement chaque paire de bobines et les remplacer par d'autres de résistance appropriées aux expériences à exécuter.

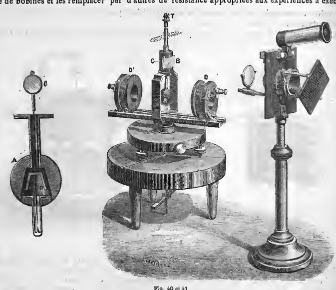


Fig. 40 et 41

L'instrument peut donc servir indistinctement aux expériences sur la chaleur animale (fils gros et court) ou à l'étude des courants nerveux et musculaire (fil fin et long).

On peut également comparer 2 courants en les faisant passer en sens inverse dans chaque bobine préalablement équilibrées. Un aimant mobile porté au-dessous d'un pied en bois, permet d'astatiser plus ou moins l'instrument à la manière d'Hauy.

Cet appareil remplace avantageusement en physiologie, tous les appareils à aimant mobile; il a sur eux l'avantage d'être *apériodique*, c'est-à-dire de ne pas avoir d'oscillations. L'aimant mobile prend sa position d'équilibre sans la dépasser.

Procédé optique pour éliminer dans les galvanomètres les variations provenant du déplacement du méridien magnétique terrestre

N° 60 (Société de Physique)

En l'absence de tout courant, l'aiguille aimantée du galvanomètre ne reste pas fixe et se déplace avec le méridien magnétique dans le courant d'une journée. Ce phénomène est très gênant quand on

veut enregistrer les déviations du galvanomètre. Je l'ai supprimé par l'artifice suivant : en face du miroir du galvanomètre (et à une distance suffisante pour éviter l'influence) je suspens un second miroir porté par une aiguille aimantée également mobile. Les 2 miroirs sous l'influence du magnétisme terrestre, s'orientent parallèlement, les faces réfléchissantes se faisant vis-à-vis. On oriente la source lumineuse de façon que le rayon se réfléchisse successivement sur les deux miroirs avant de tomber sur l'écran sensible.

Comme les variations du magnétisme terrestre déplacent toujours du *même angle* les 2 miroirs, il est facile de comprendre que l'image reste fixe malgré ce déplacement, la déviation du second miroir neutralisant ainsi la déviation du premier.

Dispositifs galvanométriques simples pour les démonstrations

(Cours du Collège de France (1883-84) et La Lumière Electrique, 7 mars 1885)

Ces différents dispositifs peuvent être construits par l'expérimentateur extemporanément. Ils sont très sensibles et je les ai imaginés pour les démonstrations faites dans mon cours d'électro-physiologie. N° 61

Les appareils 42 et 43 ont été réalisés en 1876 pour le cours de Claude Bernard.

La figure 42 représente un levier très léger 3 (une paille) portant un miroir 2 suspendu à un fil de

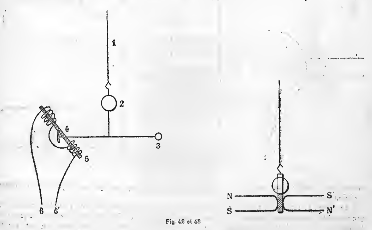


Fig. 42 et 43

cocon 1. A une des extrémités de ce levier horizontal est fixée une pointe d'aiguille 4, sur laquelle peut tourner un petit barreau aimanté 5 équilibré par le contrepoids 3. Les deux extrémités de ce barreau s'engagent dans deux solénoïdes 6 6' placés dans le méridien magnétique et enroulés convenablement.

La terre oriente le barreau 5 qui peut tourner sur le pivot 4, mais elle n'exerce aucune action directrice sur le levier 3 qui reste uniquement soumis à la force de torsion du fil 1 qui est infinimen petite. On a ainsi un appareil d'une extrême sensibilité sur lequel l'aimant terrestre n'a aucune action.

Le second appareil ressemble extrêmement à un équipage astatique de Nobili, il en diffère néanmoins complètement comme principe de construction. N° 62

Il se compose de deux petits aimants en fer à cheval N S, N' S', faits avec un ressort de montre.

Je les adosse de façon que l'ensemble forme 2 aiguilles N S' N' S comme dans l'équipage de Nobili auquel je le substitue dsns le galvanomètre ordinaire. On a ainsi un appareil beaucoup plus sensible que ce dernier et dont l'équlpage est forcément astatique par construction.

Les autres appareils datent de mes leçons de 1882-83.

N° 63 Celui qui est dessiné figure 44 constitue une espèce de galvanomètre Thomson dans lequel j'ai supprimé le fil de cocon. On prend deux petites aiguilles à coudre (1, 2) que l'on colle au dos d'un miroir concave (3), on fait reposer ces aiguilles, par leurs deux pointes, sur une lame aimantée N, disposée horizontalement, et on place le tout dans une bobine (4, 4), on a ainsi un système fortement

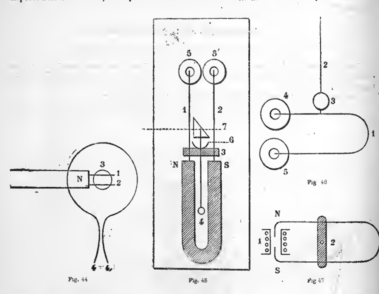


Fig. 44 Fig. 45 Fig 46 Fig 47

aimanté qui pivote autour des pointes d'aiguille comme axe et qui est, par conséquent, extrêmement mobile.

N° 64 La figure 45 représente un appareil polsrisé du même genre, construit un peu différemment; on prend deux longues aiguilles à coudre qu'on recourbe à angle droit à leur grosse extrémité (1, 2), on les enfonce dans un bouchon de liège (3) et on les dresse verticalement, les pointes en bas, sur un aimant N S', en fer à cheval, disposé verticalement. On donne au système un équilibre plus ou moins stable, par un petit contrepolds (4). Les bouts recourbés des aiguilles pénètrent dans deux solénoïdes (5, 5'). Au-dessus de la traverse (3), on colle un miroir courbe (6), au-dessous d'un prisme réflecteur à angle droit (7). Le tout est porté sur une planchette qu'on dresse verticalement. Cet appareil est extrêmement sensible.

N° 65 La figure 46 représente un appsreil à solénoïdes analogues, mais couché horizontalement et non polarisé. Il se compose d'un fil d'acier aimanté recourbé en U (1) et suspendu par une de ses branches au fil de cocon (2), portant un miroir (3) faisant corps avec l'aimant. Chaque bout de l'U aimanté est recourbé à angle droit, horizontalement, pour pouvoir pénétrer dans deux solénoïdes 4 et 5. Cet appareil est très faiblement dirigé et, par conséquent, extrêmement sensible.

N° 66 La figure 47 représente un appareil vu en projection horizontale. Il se compose d'un fil d'acier

aimenté N S, recourbé comme l'indique la figure. Les deux pôles pénètrent dans un double solénoïde (1) roulé en sens inverse (par erreur la figure le représente unique).

L'appareil est suspendu à un fil de cocon par la traverse (2) en liège, portant en son milieu un crochet muni d'un miroir. Ces différents dispositifs, dont je pourrais augmenter le nombre, ont l'avantage de pouvoir être construits par tout expérimentateur un peu soigneux.

Du fil d'acier, quelques aiguilles à coudre et des bobines de téléphone suffisent pour cela. Leur sensibilité est néanmoins supérieure à celle des meilleurs galvanomètres astatiques.

Coulomb-mètre totalisateur à mercure

(Société de Biologie, 28 mars 1805)

Cet appareil permet de connaître la *quantité totale* d'électricité ayant traversé un circuit, en un temps quelconque. Il repose sur l'électrolyse d'un sel de mercure particulier (cyanure double de mercure et de potassium). Pour avoir la quantité totale d'électricité (le nombre de coulombs) il suffit de lire *le volume* du mercure déposé au pôle négatif. C'est un procédé beaucoup plus simple que la pesée d'un dépôt métallique solide (cuivre ou argent). N° 67

Voltmètre calorimétrique

(La Lumière Electrique, 18 octobre 1884)

Cet instrument constitue une application de ma méthode calorimétrique par rayonnement. Il se compose (fig. 48) d'un thermomètre différentiel à air, dont une des boules est traversée par un fil de N° 68

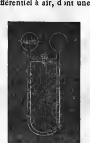


Fig. 48

platine fixe que parcourt le courant à mesurer. La quantité de chaleur cédée à la boule est proportionnelle au dénivellement du manomètre. Cet appareil donne donc des indications proportionnelles au carré de l'intensité. Il s'applique à la mesure des courants continus ou alternatifs.

Téléphone magnétique à pôles concentriques

(La Lumière Electrique, 12 août 1882, et Académie des Sciences, 7 août 1882)

Cet appareil constitue un perfectionnement important du téléphone de Bell, au double point de vue de la simplicité de construction et des effets obtenus. N° 69

J'ai démontré, contrairement aux idées reçues alors, que la *force portante* de l'aimant n'entre pour rien dans les effets obtenus au point de vue de la netteté et de la force de la production de la parole par cet instrument. La seule chose qui ait de l'influence, c'est la longueur du fil noyé dans

le champ magnétique, et le nombre de lignes de force qui coupent la bobine normalement à son axe.

Par conséquent, pour obtenir le maximum de force, il faut noyer complètement la bobine dans un champ magnétique aussi intense que possible. Je suis arrivé à ce résultat en faisant un aimant annulaire dont un des pôles occupe le centre et dont le second se recourbe autour du premier ; la bobine se place entre les deux et tout le fil qui la garnit se trouve ainsi soumis à l'action du champ magnétique.

Ainsi que le montre la figure 49, l'aimant se compose d'un élément de spire A dont une extrémité porte le pôle central *n* sur lequel se place la bobine B, l'autre extrémité porte un cylindre de fer

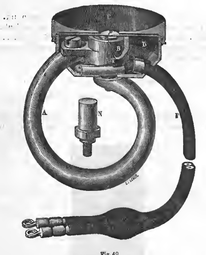


Fig. 49

T, enveloppant, de toute part, cette bobine qui se trouve ainsi noyée dans un champ magnétique annulaire très condensé.

Ce modèle a été adopté exclusivement sur les réseaux téléphoniques de l'État et pour les postes destinés à notre artillerie. Il a reçu différentes formes et différentes dimensions, suivant la destination. Voici l'opinion du célèbre électricien anglais M. Preece, au sujet de cet instrument (congrès de Southampton) :

« D'Arsonval a, de son coté, perfectionné le récepteur Bell. Il a placé la bobine dans un puissant champ magnétique de forme annulaire, de façon à concentrer sur elles les lignes de force. La bobine induite est noyée entièrement dans le champ magnétique. Les effets sont considérablement augmentés. L'augmentation de l'ampleur de la voix ne s'accompagne nullement de la perte d'articulation, comme cela a lieu d'ordinaire, la parole est reproduite sans aucun changement du timbre ».

D'après l'éminent directeur du post-office de Londres, cet appareil était le seul, transmettant avec une parfaite netteté, les consonnances si variées du *the* anglais.

Nouveaux microphones

En commun avec Paul Bert (Biologie et journal « La Nature », 1879)

Au cours des recherches sur la surdité, je fus amené, avec Paul Bert, à m'occuper du microphone pour essayer d'utiliser les propriétés amplificatrices de l'instrument primitif de Hughes. Comme il arrive en bien des cas, nous avons trouvé autre chose que ce que nous cherchions. Par des perfectionnements successifs de notre premier appareil, nous arrivâmes à combiner différents instruments qui donnèrent d'excellents résultats pour la téléphonie pratique. N° 70

Les premiers en date sont fondés sur le groupement des contacts microphoniques en quantité. La figure 50 représente un microphone composé d'une série de crayons de charbon C, enfilés verticalement dans deux plaques percées de trous qui leur servent de guide. Leur partie inférieure trempe

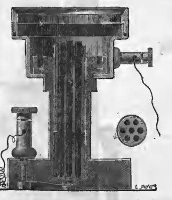






Fig. 50 et 51.

dans un bain de mercure, contenu dans le tube, et ce liquide, en exerçant une poussée, égale sur chacun d'eux, constitue un ressort d'une grande douceur. La partie supérieure de ces mêmes charbons vient appuyer légèrement sur un diaphragme portant un disque de charbon et qui reçoit les vibrations de la voix. La pression des charbons contre le diaphragme et, par conséquent, la sensibilité de l'instrument est facilement réglée en faisant varier le niveau de mercure dans le tube.

Dans les modèles, figures 51 et 52, nous avons supprimé le mercure et utilisé simplement la pesanteur comme force appuyant les contacts microphoniques.

Microphones à réglage magnétique

En commun avec Paul Bert

(Académie des Sciences, 15 mars 1880 et « La Lumière Electrique », 11 novembre 1882)

Dans tout appareil microphonique, les contacts doivent être appuyés l'un sur l'autre, avec une force plus ou moins grande, suivant le degré de sensibilité qu'on veut donner à l'appareil. Dans nos précédents appareils nous avions, Paul Bert et moi, employé, soit la poussée d'un liquide, soit la pesanteur. Ce système de réglage ne permet pas de placer indifféremment l'appareil dans toutes les positions.

En 1879, nous en avons trouvé un qui a le double avantage *d'agir dans toutes les positions* et à *distance*; c'est l'attraction magnétique. Le réglage de l'effort exercé est rendu des plus précis et peu

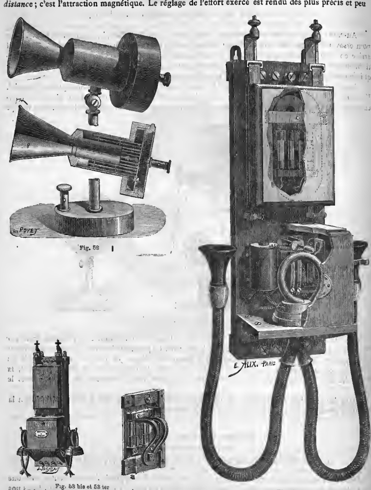


Fig. 52

Fig. 53 bis et 53 ter

Fig. 53

s'appliquer à nombre d'instruments. Le premier dispositif de ce réglage (celui décrit dans notre note à l'Institut) ne nous donna pas, *en pratique*, de bons résultats. Pensant bien que cela tenait, non au

principe, mais au mode d'application, je me suis attaché ultérieurement à varier les modèles et j'ai complètement réussi en adoptant la disposition suivante (fig. 52, 52 *bis* et *ter*) :

Le microphone (en haut de la figure) est un simple microphone Hughes vertical à quatre crayons de charbon montés sur pointes. Ces charbons sont entourés ainsi que le montre le dessin, d'une chemise de fer blanc.

Derrière eux se trouve un aimant en fer à cheval, qu'on peut approcher plus ou moins, et dont l'attraction magnétique règle *à distance* la pression de charbons.

Les figures 54 et 55 constituent des modèles différents du même appareil.

La figure 56 est un modèle à pied se posant sur une table ou un bureau.



Fig. 54

La figure 57 représente le modèle dit *applique*, adopté pour les réseaux de l'État ainsi que son diminutif figure 58.

La figure 59 est l'appareil d'opération pour bureau central. Il se compose d'un microphone et d'un téléphone accouplés sur le même manche, on a ainsi une main libre.

Des modèles spéciaux de ces appareils ont été étudiés pour résister aux chocs des plus violents ; et comme, grâce à leur réglage magnétique, ils fonctionnent dans toutes les positions, on a pu introduire le microphone dans le service des forts, des écoles à feu, des polygones d'artillerie, etc. J'ai combiné ces différents modèles sur la demande de mon éminent ami le général Brugère pour ses expériences de tir.

Malgré le mauvais état des lignes ils ont donné aux polygones de Vincennes, de Châlons et de Cercottes, des résultats complètement satisfaisants. Ces mêmes appareils fonctionnent également au palais de la Bourse pour les transmissions téléphoniques à grande distance (Paris-Bruxelles, Paris-Reims, etc.). C'est également avec le microphone à réglage magnétique que j'ai pu constater les

phénomènes du torax et de la contractilité musculaire post mortem qu'on trouvera signalés plus bas.

Condensateur voltaïque

(Académie des Sciences, 26 janvier 1880)

N° 72 Cette appareil est une pile secondaire de Planté dans laquelle on électrolyse une solution de sul-



Fig. 55

fate de zinc ou de manganèse sur des lames de plomb ou de charbon. On a une force électromotrice et une capacité plus élevées.

Nouvelles piles

(Académie des Sciences, 2 août 1880)

N° 73 Nouveaux dispositifs empêchant dans les piles à 2 liquides l'action chimique de continuer à circuit ouvert.

1° Par l'emploi du noir animal comme diaphragme;

2° En employant 2 liquides, séparés par un vase poreux, et capables, en agissant l'un sur l'autre à travers ses parois, de donner lieu à un précipité électrolysable bouchant, pendant le repos, les pores du vase. Couples (zinc sulfate de zinc-argent, nitrate d'argent; soude-sulfate de cuivre; soude-perchlorure de fer, etc.).

Suppression des vapeurs nitreuses dans la pile Bunsen et nouvelle pile se dépolarisant par l'air

(Académie des Sciences, 4 mai 1884)

N° 74 1° On supprime les vapeurs nitreuses par l'addition d'urée à l'acide azotique;

2° En remplaçant dans l'élément Bunsen l'acide azotique par du bichlorure de cuivre en solution acide; c'est l'air qui fournit directement l'oxygène servant à la dépolarisation.

Recherches expérimentales sur les piles voltaïques

(Lumière Electrique 1881)

Dans cette étude (publiée en onze articles) j'étudie de quelle façon l'oxygène de l'acide azotique est utilisé pour la dépolarisation; je montre que, faute de connaître les réactions qui ont lieu, on se livre à un véritable gaspillage de cet acide et qu'on n'utilise que 1/10 de l'oxygène qu'il contient. J'indique par quels procédés on peut remédier à ce défaut et je donne la formule d'un liquide azotique aujourd'hui généralement employé (et auquel les électriciens ont donné mon nom), qui utilise la totalité de l'oxygène de l'acide.

Sur le rendement des moteurs électriques

(La Lumière Electrique 1881)

Dans cette étude (publiée en 7 articles) j'étudie expérimentalement le rendement des différents N° 75

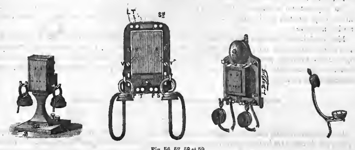


Fig. 56, 57, 58 et 59

moteurs électriques alors connus (moteur Deprez, machine de Ladd, machine Gramme, etc.) Je mesure d'une part le travail produit au frein et, d'autre part, l'énergie électrique E I fournie aux bornes du moteur.

Il ressort de ces expériences que la machine de Gramme est le moteur le plus parfait et qu'elle peut donner jusqu'à 375 kilogrammètres par gramme de zinc brûlé dans la pile à acide azotique.

Les sciences physiques en biologie

(La Lumière Électrique 1881.)

Étude publiée en 17 articles, dans laquelle je passe en revue l'importance des différentes conditions physiques sur les manifestations vitales, et où je montre que l'être vivant doit être considéré et étudié comme un simple *transformateur d'énergie.* N° 76

Quelques expériences sur les piles voltaïques

(La Lumière Électrique 1883.)

Dans cette étude, faite au sujet d'une pile nouvelle, j'indique comment on doit procéder pour le N° 77

calcul de l'énergie maxima disponible d'un couple voltaïque quelconque dont on connaît la force électromotrice E et la résistance intérieure R. J'arrive à la formule générale $W\,d = \frac{E^2}{4\,g\,R}$.

En partant simplement de la loi de la conservation de l'énergie, j'indique une deuxième formule permettant de calculer *d'avance* la force électromotrice d'un couple quelconque dont on connaît la valeur thermo-chimique des réactions. Cette formule est $E = o$ volt, 044 C., dans laquelle C représente la *somme algébrique* des calories dégagées par les réactions chimiques qui se passent dans la pile. Ces formules ne sont pas nouvelles, mais elles ont l'avantage, pour les praticiens, de reposer sur des calculs élémentaires qu'il leur est extrêmement facile de suivre.

Téléphone employé comme galvanoscope

(Biologie, 2 mars 1878. — Académie des Sciences, 1er avril 1878.)

N° 78 La patte de la grenouille était considérée comme l'un des réactifs les plus sensibles aux courants électriques et employée constamment comme galvanoscope. Par une expérience très simple, j'ai montré, en décembre 1877, que le téléphone est environ deux cents fois plus sensible que la patte galvanoscopique. Je proposai alors l'usage de cet instrument pour l'étude de l'électricité animale en général, et du tétanos électrique du muscle en particulier.

En disposant un interrupteur vibrant, j'ai pu déceler, par le téléphone, le passage d'un courant continu, et je montrai ainsi l'existence des courants électriques musculaire et nerveux, ainsi que la variation négative.

Mes expériences furent répétées par divers savants et, notamment, par M. de Tarchannoff, à Saint-Pétersbourg, avec un plein succès, en suivant mes indications. Ultérieurement, M. Marey fit usage de ma méthode pour l'étude de la décharge des poissons électriques et arriva facilement à prouver sa discontinuité. M. Robin employa également le téléphone *pour l'étude de l'organe électrique* rudimentaire de certains poissons.

Nouvelle méthode d'excitation des nerfs et des muscles

(Académie des Sciences, 27 juin 1881.)

N° 79 Les courants induits étant constamment employés comme excitants des muscles et des nerfs, en physiologie, il était très important de les graduer de façon à rendre comparables entre eux les travaux des différents expérimentateurs. Il est surtout extrêmement important de pouvoir, dans le cours d'une même expérience, reproduire une excitation toujours identique à elle-même. D'autre part, il faut réduire l'excitation électrique à une excitation *purement mécanique*, sans action chimique et ayant un *sens neutre* au point de vue de la direction du courant.

J'y suis arrivé au moyen de l'instrument suivant qui a figuré, en 1878, à l'exposition de M. A. Gaiffe qui l'avait construit sur mes indications.

Je prends une bobine d'induction à induit mobile, connue en physiologie sous le nom de chariot de du Bois-Reymond ; seulement, au lieu d'employer comme courant inducteur une pile, *je me sers de la décharge d'un condensateur de capacité connue chargé à un potentiel connu.* La quantité d'électricité mise en jeu est donc ainsi mathématiquement dosée. Ce courant inducteur instantané, pouvant être assimilé à un courant qui commence et à un courant qui finit, donne naissance, dans le second fil, à deux courants instantanés, *de quantité égale, mais de sens inverse qui, par conséquent, s'annulent au point de vue chimique et au point de vue de la direction.*

L'excitation est ainsi réduite à un effet purement mécanique de l'électricité, effet qui sera toujours le même pour une même charge du condensateur et une même distance de la bobine induite. Je fais varier l'intensité de l'excitation de trois façons différentes :

1° En faisant varier la surface du condensateur, c'est-à-dire sa capacité ;

2° Son potentiel ;

3° En changeant la distance qui sépare les deux bobines (inductrice et induite).

Ce dernier procédé est suffisant à lui seul dans la pratique.

Cette méthode d'excitation présente l'énorme avantage, sur toutes les autres, de ne pas fatiguer le nerf, ainsi que l'a montré, par des tracés comparatifs, M. Mendelshon, qui en a répandu l'usage en Allemagne et en Russie.

Appareil enregistrant simultanément la courbe de l'excitation électrique et la contraction musculaire qui en résulte

(Société de Biologie, 1er avril 1882)

Une excitation électrique ne saurait être définie par la seule connaissance de la quantité d'électricité mise en mouvement, ni même par la variation maxima du potentiel; le facteur temps intervient également pour une part prépondérante. Par conséquent, il serait extrêmement important de pouvoir inscrire automatiquement la courbe électrique d'une excitation en fonction de la quantité d'électricité du potentiel et du temps. N° 80

On pourrait analyser ainsi la part qui revient à chacun de ces 3 facteurs dans la production de

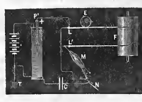


Fig. 60

la contraction musculaire. Il faudrait également pouvoir faire varier chacun de ces facteurs un à un, deux à deux ou tous les trois à la fois, pour avoir une solution générale du problème.

C'est ce difficile problème que j'ai résolu par le dispositif suivant, imaginé durant la session du Congrès des électriciens. En 1881, j'en communiquai le croquis à M. du Bois-Reymond, à la commission internationale d'électro-physiologie dont j'étais le secrétaire.

L'appareil représenté schématiquement (fig. 60) permet d'inscrire sur un cylindre la courbe électrique d'excitation en donnant :

1° La quantité d'électricité mise en mouvement;

2° La variation du potentiel;

3° Les phases de cette variation.

Il inscrit également au-dessous de cette courbe, que j'appelle *caractéristique de l'excitation*, le graphique de la contraction musculaire qui en résulte.

Cet appareil se compose d'une pile P, fermée sur un tube de verre plein d'une solution de sulfate de cuivre. Un des pôles de la pile est mis à la terre T. Le potentiel va donc en décroissant graduellement d'une valeur maxima à zéro dans l'intérieur de la solution cuivrique. Un levier mobile autour du point L porte un fil de cuivre P' isolé jusqu'à sa pointe, dont les mouvements sont solidaires de ceux du levier L.

En faisant osciller ce levier au moyen de l'excentrique E, on fait plonger plus ou moins le fil P' dans le tube et on change ainsi son potentiel graduellement. On voit également que les déplacements de la pointe du levier L sur le cylindre T traduisent graphiquement les variations du potentiel. Le fond du tube est mise en rapport avec l'une des faces d'un condensateur C, de capacité connue, l'autre face est mise en rapport avec le nerf moteur N du muscle M et revient de là au levier L et au plongeur P' pour compléter le circuit.

On voit que, de cette manière, pour une même amplitude de la course du levier L, (c'est-à-dire pour une même variation du potentiel), le nerf sera traversé par une quantité d'électricité toujours la même.

La courbe inscrite sur le cylindre F par le levier L donne donc bien :

1° La quantité d'électricité traversant le nerf;

2° La variation du potentiel;

3° Les phases de cette variation.

On peut aisément faire varier chacun de ces 3 facteurs indépendamment l'un de l'autre, savoir :

1° La quantité : en modifiant la surface du condensateur C;

2° Le potentiel : en modifiant le nombre des couples de la pile P;

3° Les phases de la variation du potentiel : en changeant la vitesse de rotation et le profil de l'excentrique E.

Le muscle M est attaché à un second levier L' qui inscrit la courbe de la construction musculaire au-dessous de la courbe d'excitation sur le cylindre F. La comparaison entre la cause et l'effet est ainsi rendue des plus faciles.

Les principaux résultats que j'ai obtenus peuvent se résumer ainsi :

1° Pour le nerf l'énergie de la contraction résultante dépend surtout de la variation du potentiel et aussi de la brièveté de cette variation; la quantité d'électricité mise en jeu joue un rôle secondaire;

2° L'inverse a lieu pour le muscle; l'énergie de la contraction dans ce cas dépend surtout de la quantité d'électi cité mise en mouvement et beaucoup moins des variations du potentiel. Ces faits donnent l'expli tion de la réaction différentielle, connue des électrothérapistes sous le nom de *réaction de dég érescence*. Cette réaction tient uniquement à la forme de la *caractéristique* d'excitation électrique

Su la possibilité actuelle d'utiliser les forces naturelles par l'électricité

(Revue scientifique et République française)

Par des considérations très simples et à l'aide de calculs élémentaires, j'établissais les conditions théoriques du transport de l'énergie par l'électricité. La pratique industrielle a pleinement confirmé ultérieurement ces conclusions.

Discussion de la Commission internationale d'électro-physiologie

(Revue scientifique, 3 décembre 1881)

N° 82 J'ai publié cette discussion en qualité de secrétaire de la commission et pour répondre à une réclamation très juste que M. Gaiffe avait faite au sujet du rapport publié par M. du Bois-Reymond dans le même journal. En dehors des idées échangées, on voit que c'est sur mon insistance réitérée que les électrothérapistes allemands ont adopté les appareils gradués en unités C. G. S. Je dis de plus dans cet article que la connaissance de l'intensité du courant employé en électrothérapie n'est pas suffisante pour caractériser, mais qu'il faut connaître aussi la *chute* de potentiel entre les électrodes ainsi que que la *durée* et les *phases* de cette chute.

Chronomètre électrique mesurant la vitesse des impressions nerveuses

(Biologie, 15 mai 1886)

N° 83 Cet instrument répond à un besoin de la clinique des maladies nerveuses. Il mesure *directement*, au moyen du déplacement d'une aiguille sur un cadran divisé, la vitesse de l'agent nerveux.

Il se compose (fig. 61) d'un mouvement d'horlogerie E imprimant à un axe, une vitesse de rotation uniforme d'un tour par seconde. Cet axe se termine par un petit plateau B. En face, et sur son prolongement, se trouve un second axe, muni également d'un plateau, et qui se termine par l'aiguille C, se mouvant sur un cadran divisé. Les deux axes sont absolument indépendants tant qu'un courant électrique passe dans l'électro-aimant D.

Si on rompt le courant, le plateau de fer, grâce à un ressort antagoniste, embraye instantanément avec le plateau B qui tourne constamment à un tour par seconde.

Pour mesurer un espace de temps très court, il suffit de disposer les choses pour que le début du phénomène rompe le courant et que sa fin le referme.

Au moment même où le phénomène se produit, l'aiguille part, à raison de un tour par seconde.

Fig. 61

La durée du phénomène se lit sur le cadran en centièmes de seconde, si le cadran porte cent divisions.

Le temps perdu par l'électro-aimant est absolument négligeable, d'ailleurs comme il est constant, il n'influence en rien les mesures comparatives.

Pour adapter cet appareil à la mesure des sensations nerveuses, je lui ai adjoint deux petits instruments fort simples J, K et I ; le premier est tenu par le médecin, le second par le malade. Ce dernier, ayant les yeux fermés, le médecin le touche à l'aide du bouton K, en un point du corps qu'il s'agit d'explorer. Au moment même où a lieu le contact, l'aiguille du chronomètre part, parce que l'aiguille du manipulateur J K ouvre le circuit.

Quand le malade a senti, il referme le courant au moyen de la pressoir I qu'il tient à la main et arrête ainsi l'aiguille. On lit ainsi sur le cadran, en centièmes de secondes, le temps écoulé entre l'instant où le malade a été touché et l'instant où il a perçu cet attouchement. On compare ainsi très rapidement la durée du réflexe sensitif, dans les différentes parties du corps. On peut reconnaître si la moëlle épinière est malade, quel est le point malade, etc.; il en est de même pour les nerfs. A l'aide de cet instrument, le clinicien étudie les lésions du système nerveux et arrive à les localiser comme un électricien recherche les défauts d'une ligne télégraphique.

A l'aide de cet instrument, M. Brown-Sequard et moi avons entrepris une série de recherches qui ont donné déjà des résultats très intéressants au point de vue des causes physiques ou morales qui modifient l'état des centres nerveux.

Les différentes sensations (pression, chaleur, froid, électricité, etc.,) se transmettent avec des vitesses différentes. Certaines affections du système nerveux font disparaître les unes pour exalter les autres, etc.

Excitateur électrique à coulisse

(Biologie, 8 mai 1886)

N° 84 Cet appareil (fig. 62) se compose d'un pied à coulisse en caoutchouc durci, ou compas à branches parallèles. Les deux pointes, isolées l'une de l'autre, se terminent par des bornes recevant les fils conducteurs. Une des branches est fixe, l'autre peut recevoir de grands écarts en coulissant le long de la règle divisée en millimètres.

Les pointes dn compas sont mobiles et peuvent être remplacées par des excitateurs électriques

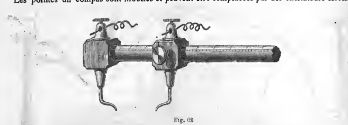


Fig. 62

de toutes formes, des électrodes impolarisables, des pointes d'œsthésiomètre, etc. L'appareil, au lieu d'être tenu à la main, peut se mouvoir sur un support fixe.

Action du champ magnétique sur les phénomènes chimiques et physiologiques

(Biologie, 22 avril 1882)

Les expériences de Faraday ont démontré qu'un champ magnétique change l'état moléculaire des corps qui y sont plongés, ce qu'on reconnaît par des procédés optiques (rotation du plan de polarisation). Je pensai qu'on pouvait rendre cette modification apparente en employant pour la déceler des réactions chimiques.

Dans une série d'expériences, en partie inédites et que j'ai reprises avec de très puissants moyens d'action, j'ai reconnu que le champ magnétique retarde beaucoup la fermentation alcoolique de la levure de bière, qu'il empêche certaines réactions chimiques à action lente et qu'il agit très nettement sur le développement embryonnaire, même chez les êtres supérieurs (œuf d'oiseau en incubation). Mes premiers résultats ont été confirmés depuis ma publication de 1882, par divers expérimentateurs français et étrangers.

J'ai montré également que le champ magnétique modifie la vitesse d'écoulement des liquides circulant dans les tubes capillaires. L'expérience est notamment très nette avec le sang défibriné. Ce ralentissement est en rapport avec la conductibilité électrique du liquide et s'explique par les phénomènes d'induction que fait naître le déplacement d'un liquide conducteur au voisinage d'un champ magnétique puissant.

On observe le même phénomène sur le vivant en examinant, par exemple, la circulation du sang dans la langue de la grenouille.

Mesure de l'énergie électrique au moyen du calorimètre

J'ai montré que si l'on suspend un vase plein d'eau à 100 degrés, dans un second vase contenant de la vapeur saturée également à 100 degrés, l'eau du premier vase ne s'évapore pas tant qu'il n'est

pas soumise à une cause d'échauffement *intérieure*. Ce vase suspendu au fléau d'une balance ne varie pas de poids (voir schéma de la figure 22).

Si on plonge dans ce vase une hélice métallique traversée par un courant électrique, toute la chaleur dégagée par le courant est employée à volatiliser l'eau *sans changement de température ni du fil, ni de la vapeur*. Connaissant la chaleur de volatilisation de l'eau, une simple pesée donne la mesure de la chaleur dégagée et, par conséquent, de l'énergie électrique consommée dans l'hélice. Le même dispositif permet de mesurer la résistance électrique R de l'hélice. On peut remplacer l'eau par tout autre liquide (un gaz liquéfié, par exemple, bouillant à la température ambiante).

Nouvel inscripteur sans frottement

(Biologie, 22 avril 1882)

J'ai reconnu qu'un jet de fumée (fumée de tabac), sortant par un orifice capillaire, laisse sur une feuille de papier placée à *distance* (4 à 5 millimètres) un trait indélébile *très délié* constitué par du noir de fumée. J'ai appliqué ce procédé à l'inscription des indications du galvanomètre. Depuis, la simplification apportée à la méthode d'inscription par la photographie, a rendu inutile ce procédé. N° 85

Des piles employées dans les mesures électriques

(Biologie et Société de physique, 1882)

J'ai montré que les piles à deux liquides séparés par un vase poreux, n'ont pas une force électromotrice constante. Cela tient à ce que l'endosmose des deux liquides à travers le vase poreux donne naissance à une force électromotrice parasite (courants électro-capillaires de Becquerel). C'est là une cause d'erreur qui m'a fait rejeter l'usage de ces piles, comme étalon de force électromotrice. N° 86

Pour les mesures de force électromotrice par le procédé de du Bois-Reymond (procédé de Poggendorff modifié), j'ai proposé de remplacer la pile par un accumulateur au plomb (genre Planté ou Faure), on a ainsi un courant dont l'intensité ne varie pas d'un centième de sa valeur en l'espace d'une semaine, en choisissant convenablement l'accumulateur et la résistance sur laquelle on le ferme en court-circuit. Ce procédé permet de mesurer, avec une grande précision, des forces électromotrices inférieures à un millième de volt.

Télégraphie et téléphonie simultanées

(Rapport des hautes études, 1882-83)

Dans le cours d'expériences faites en janvier 1882, j'excitai des muscles par les courants alternatifs provenant d'un moteur Deprez sans commutateur. N° 87

Je reconnus que ces courants pouvaient animer un signal Deprez (électro-aimant de petites dimensions), tandis qu'un téléphone intercalé dans le circuit restait muet. Je conclus de cette expérience qu'il était possible de placer un télégraphe et un téléphone sur le même fil ; j'indiquai un moyen pour obtenir des courants ondulatoires à l'aide de la pile (brevet de mai 1882). Presque en même temps, (mars et mai 1882), M. Van Rysselberghe arrivait, de son côté, en Belgique, aux mêmes conclusions, et réalisait en grand et pratiquement cette expérience par des moyens tout différents, mais dont le principe est néanmoins le même.

Dangers des générateurs mécaniques d'électricité, moyen de les éviter

(Biologie, 27 décembre 1884)

J'ai eu à m'occuper de cette question comme membre de la commission chargée d'élaborer un N° 88

projet de loi pour réglementer la production et la distribution de la force et de la lumière par l'électricité.

Le ministère nous demandait de déterminer, expérimentalement, quelles étaient, pour le courant électrique, la tension et l'intensité qu'il serait dangereux de dépasser dans la pratique.

Je montrai que le problème ainsi posé n'était susceptible d'aucune solution, en prouvant expérimentalement les trois propositions suivantes :

1° Une pile et une machine donnant, dans une canalisation ordinaire, deux courants ayant *même tension* et *même intensité*, n'offrent pas les mêmes dangers ;

2° Deux machines donnant, *dans un circuit semblable*, des courants ayant *même tension* et *même intensité*, sont inégalement dangereuses ;

3° *Un même courant non dangereux dans un circuit peut l'être dans un autre.*

Le danger provient uniquement de la self-induction de la machine ou du circuit et nullement de l'intensité et de la tension du courant. Pour éviter tout danger, il suffit d'empêcher l'extra-courant de rupture de passer par le corps de l'expérimentateur.

J'ai proposé le moyen suivant :

Je place en dérivation, sur les bornes de la machine, une série de voltamètres à lame de plomb et à eau acidulée, en nombre suffisant pour que leur force électromotrice de polarisation soit légèrement supérieure à celle de la machine. Cette dérivation est infranchissable pour le courant *direct* de la machine, mais il n'en est pas de même pour l'extra-courant de rupture dont la tension est infiniment supérieure, et constitue seul le danger. Si le circuit, pour une cause quelconque, vient à être rompu, l'extra-courant passe exclusivement par les voltamètres qui servent ainsi de parafoudre.

On peut atténuer l'étincelle de rupture par l'emploi de coudensateurs, comme l'avait proposé mon ami regretté M. Raynaud. Ce moyen est très efficace pour protéger la machine, mais il augmente, au contraire, ainsi que je l'ai montré, les dangers pour les hommes qui la manient.

La mort par l'électricité dans l'industrie. Ses mécanismes physiologiques, Moyens préservateurs

(Société de biologie et Académie des Sciences, 4 avril 1887)

N° 89 J'ai provoqué la mort par foudroiement à l'aide des différentes machines électriquee employée dans l'industrie. J'ai trouvé que, quelle que soit la variété des phénomènes physiologiques accompagnant le foudroiement, l'électricité entraîne la mort seulement de deux manières :

1° *Par action directe* (effets disruptifs de la décharge désorganisant physiquement les tissus) ;

2° *Par action réflexe ou indirecte* (en agissant sur les centres nerveux dont l'irritation entraîne l'infinie variété d'effets connus depuis Brown Séquard sous les noms d'*Inhibition* et de *Dynamogénie*).

Au point de vue pratique, ces deux genres de mort se distinguent également l'un de l'autre.

En effet, la mort par action directe est irrémédiable et définitive ; au contraire, la mort par action réflexe n'est la plupart du temps qu'apparente. Elle n'est définitive que si on n'intervient pas à temps.

Dans toutes mes expériences, j'ai pu ramener à la vie les animaux foudroyés par les machines industrielles en pratiquant sur eux, immédiatement, la respiration artificielle. Les couranta employés jusqu'ici dans l'industrie tuent le plus souvent par arrêt de la respiration. En empêchant l'asphyxie au moyen de la respiration artificielle, on peut donc ramener l'individu à la vie.

Cette conclusion a son importance pratique au point de vue de l'hygiène publique.

Emploi du polarimètre à pénombre pour la mesure des courants électriques

La Lumière Electrique.

N° 90 Dans le courant de l'année 1882, j'ai employé le polarimètre Laurent à pénombre pour mesurer

les courants. Ce dispositif consiste simplement à enrouler un solénoïde autour du tube saccharimétrique rempli de sulfure de carbone. Le passage du courant dans le solénoïde fait tourner le plan de polarisation de la lumière d'une quantité qui est rigoureusement proportionnelle à son intensité.

J'ai, plus tard, remplacé avec avantage le sulfure de carbone par un corps transparent solide (le verre pesant de Faraday, au borosilicate de plomb). J'ai pu également, avec cet appareil, tracer la courbe, point par point, d'un courant alternatif, en procédant par contacts successifs au moyen d'une came, à calage variable, porté par l'axe de la machine.

Cette came lançait le courant dans le solénoïde toujours au même temps de la phase, et à cause de la persistance des impressions sur la rétine, la déviation au polarimètre paraît continue.

Cet instrument a l'avantage de donner des indications instantanées rigoureusement proportionnelles à l'intensité du courant. De plus, il n'est influencé ni par le magnétisme terrestre ni par le voisinage des machines.

Graduateur de courant à action continue

(*La Lumière Électrique*, 1881)

J'ai signalé à plusieurs reprises un moyen très simple de graduer l'intensité d'un courant. Ce procédé consiste à faire passer le courant à travers un tube de caoutchouc plein de mercure. En écrasant graduellement ce tube au moyen d'une pince à vis, on fait varier sa résistance depuis un minimum jusqu'à l'infini, et cela sans secousses. Ce moyen est précieux dans nombre d'expériences et surtout en électrothérapie. N° 91

Disjoncteur supprimant l'extra-courant

(Académie des Sciences, 4 avril 1887)

Cet appareil repose sur un principe analogue au précédent. Il se compose d'un simple robinet en grès, rempli de mercure, à travers lequel on fait passer le courant venant de la machine. Quand on veut rompre le courant, on ferme le robinet. Cette fermeture agit comme l'écrasement du tube de caoutchouc de l'instrument ci-dessus; le courant se trouvant graduellement diminué ne peut donner d'étincelle et par conséquent de secousse dangereuse. N° 92

Interrupteur à mercure pour bobine de Ruhmkorff

(Commission d'électro-physiologie, 1881)

Ce procédé consiste à plonger dans l'alcool absolu deux fils de platine très voisins l'un de l'autre, et faisant partie du circuit primaire de la bobine. On fait tomber du mercure goutte à goutte entre les deux fils. Chaque goutte, pendant sa chute, ferme et rompt alternativement le circuit de la pile animant la bobine; et, comme le mercure est toujours propre, on peut employer de forts courants sans avoir de ratés. N° 93

Appareil destiné à mesurer la conductibilité des tissus vivants pour le son

(Société de Biologie, 1887)

L'auscultation et la percussion reposent sur la perméabilité sonore des tissus vivants. On n'a aucun moyen de *mesurer* cette perméabilité, et le médecin s'en rapporte à une sensation purement subjective qui ne peut donner aucune indication *quantitative*. N° 94

J'ai paré à cet inconvénient de la manière suivante :

J'applique un téléphone sur la poitrine; ce téléphone est mis en vibration sonore au moyen d'une bobine à chariot, ayant pour interrupteur un diapason donnant le *la* normal. Il constitue de la sorte,

une source sonore de hauteur fixe dont on fait varier l'intensité par le glissement de la bobine. Le médecin applique l'oreille sur le point du corps opposé au téléphone, il fait varier (par l'éloignement de la bobine) l'intensité du son jusqu'au minimum perceptible.

L'écart des deux bobines (inductrice et induite) donne la valeur de la perméabilité sonore du tissu.

Un de mes élèves a publié, sous ma direction, un important travail clinique sur ce sujet.

Acoumètre à extra-courant (appareil pour mesurer l'acuité auditive)

(Société de Biologie, 1887)

N° 95 Cet appareil repose sur un principe analogue, mais il est plus simple. Il se compose d'un téléphone et d'un diapason entretenu électriquement au moyen d'un petit électro-aimant (procédé Mercadier).

Pour animer le téléphone, je me sers de l'extra-courant de rupture de l'électro-aimant. Je gradue cet extra-courant au moyen d'un tube plein d'eau, dans lequel plonge une tige métallique graduée.

L'intensité du son varie graduellement avec la longueur de la colonne d'eau qui en donne la mesure, lorsqu'on est arrivé au minimum perceptible.

Ce petit appareil donne d'excellents résultats pour mesurer l'acuité auditive, d'après les expériences de M. Gellé qui l'emploie depuis que je l'ai fait connaître.

Myophone ou microphone appliqué à l'étude de la contraction musculaire

(Voir Boudet de Pâris : Applications du téléphone et du microphone à la Clinique, page 106 Frédéric Henry, éditeur, Paris, 1880 et Société de Biologie, 1886)

N° 96 En 1878, j'eus l'idée d'appliquer le microphone pour étudier les vibrations du muscle à l'état actif (contraction et contracture musculaires), ainsi qu'à l'état de repos (tonus musculaire, bruit rotatoire, paralysie musculaire).

Je disposai une forme spéciale de microphone pour cette étude (microphone à réglage magnétique). Mon ami, le Dr Boudet de Pâris, m'ayant manifesté le désir de faire des recherches cliniques au moyen de ce procédé nouveau, je lui communiquai mes premières expériences physiologiques qui sont restées inédites.

Voici d'ailleurs ce qu'il dit, à ce sujet, dans son travail :

« Je dois d'abord reconnaître qu'avant moi M. d'Arsonval avait eu l'idée d'appliquer le microphone à l'étude du bruit musculaire; mais diverses circonstances l'ayant forcé d'interrompre ses recherches, il a bien voulu me faire part de ses résultats, qui concordent d'ailleurs pleinement avec ceux que j'ai obtenus par la suite. »

Voici ce que j'avais constaté dans les expériences communiquées à M. Boudet :

1° Au myophone le muscle, contrairement à ce que montre le myographe, ne fusionne jamais les secousses. Quelque rapides que soient les excitations (j'ai dépassé 1000 par seconde) le muscle rend toujours un son de même hauteur que l'interrupteur ;

2° L'intensité du son est beaucoup plus grande, quand le muscle ne se contracte pas à vide, mais se trouve tendu par un poids ou un ressort

Sur l'animal vivant :

1° Le bruit musculaire (dû au tonus) s'élève à mesure qu'on tend le muscle davantage ;

2° Il disparaît si on coupe le nerf moteur ou si on empoisonne l'animal par le curare. Il n'est pas dû à la circulation, puisqu'il persiste après sa suppression chez la grenouille.

M. Boudet a confirmé ces résultats que je lui avais communiqués verbalement. Il en a trouvé de nouveaux en transportant dans la clinique ce procédé d'investigation en collaboration, soit avec M. Debove, soit avec M. Brissaud (Voir son travail ci-dessus mentionné.)

La figure 63, empruntée à un appareil utilisé par M. Boudet, montre comment est réglée la pression des charbons. Le charbon C porte une lame de fer blanc; je règle la pression sur le charbon C' au moyen de la vis M qui est aimantée et qui attire plus ou moins la lame de fer blanc.

Muscle téléphonique

(La Lumière Électrique et Société de biologie, 4 juillet 1885.)

Cette expérience, que j'ai faite en 1880, à la suite du myophone, montre d'une manière saisissante que le nerf et le muscle répondent toujours à des excitations électriques, quelque rapides qu'elles soient. N° 97

Elle consiste à prendre un muscle de grenouille (gastrocnémien) muni de son nerf. J'excite ce nerf par les courants ondulatoires provenant d'un téléphone, ou mieux, d'un microphone, sur lequel on parle. Le tendon du muscle est attaché au centre d'une membrane sur laquelle il tire (téléphone à ficelle). On met l'oreille contre cette membrane et, si on parle sur le microphone, *le muscle reproduit la parole avec autant de netteté qu'un téléphone.*

D'après Helmholtz, le nombre des vibrations nécessaires à la reproduction du timbre de la voix

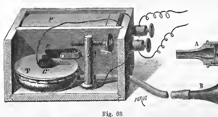


Fig. 63

humaine dépasse cinq mille par seconde; le nerf et le muscle obéissent néanmoins fidèlement à ces excitations et les traduisent par des mouvements moléculaires imperceptibles au myographe. Cet instrument est donc bien infidèle, et le fusionnement des secousses est plus apparent que réel.

La durée de l'excitabilité des nerfs et des muscles, après la mort, est beaucoup plus grande qu'on ne le croit généralement

(Société de biologie, 1886.)

On enseigne, en physiologie, que chez les animaux supérieurs, l'excitabilité électrique du nerf disparaît quelques minutes, et celle du muscle, quelques heures après la mort. Cela est absolument vrai quand on prend, pour déceler cette excitabilité, le raccourcissement en masse du muscle (contraction ou raccourcissement visible à l'œil nu). N° 98

J'ai reconnu qu'il en est tout autrement lorsqu'on emploie le myophone pour déceler le mouvement musculaire. Chez un lapin, notamment, l'irritation électrique du sciatique faisait vibrer les muscles du mollet dix heures après que toute contraction du muscle, visible à l'œil, avait disparu. La mort partielle des tissus est donc infiniment plus lente qu'on n'est tenté de le croire à première vue.

Cette persistance de l'action du nerf sur le muscle ne se traduisant pas, néanmoins, par un mouvement apparent de ce dernier, explique très bien comment il peut se faire que la perte d'excitabilité d'un nerf moteur coïncide quelquefois avec la conservation de ses propriétés trophiques; tel est le cas, par exemple, de paralysie radiale signalé à la Biologie, en 1886, par MM. Déjerine et Vulpian.

Sur quelques causes physiques produisant des courants électriques

(Société de Biologie, 13 juin 1885)

N° 99 1° Si on filtre un liquide conducteur à travers un vase poreux, et qu'on réunisse à un galvanomètre sensible, par des fils conducteurs, le liquide contenu à l'intérieur du vase et le liquide qui a filtré, on constate la production du courant pendant tout le temps que dure la filtration. La force électromotrice augmente avec la pression du liquide dans l'intérieur du vase poreux. Pour déceler ce courant, il faut employer une solution de sulfate de cuivre et des conducteurs en cuivre; on évite ainsi la polarisation qui masquerait le phénomène, si on se contentait d'employer de l'eau acidulée. Ce phénomène est l'inverse du phénomène connu en physique sous le nom de phénomène de Porret. C'est par lui qu'on peut expliquer comment il se fait que la force électromotrice du couple de Daniell à deux liquides séparés par un vase poreux est variable (avec des liquides identiques) et plus élevée que celle du même couple n'ayant psa de vase poreux (pile Callaud).

2° L'écoulement d'une solution de sulfate de cuivre à travers un tube de verre capillaire, donne sur la paroi du tube des différences de potentiel qui varient comme les pressions statiques de ce liquide, dans l'expérience des piezomètres de Bernouilli. Des courants analogues doivent prendre naissance pendant la circulation du sang à travera les capillaires sanguina.

Cause des courants électriques d'origine animale dits : Courants de repos

(Biologie, 13 juin 1885)

N° 100 Ces courants aont corrélatifs du fonctionnement chimique du protoplasma (respiration, c'est-à-dire oxydation).

Dans tous les tiasus, et même à l'état de liberté, le protoplasmase comporte comme le zinc dans une pile électrique ; il est négatif par rapport au milieu où il fonctionne.

Cette négativité semble être en rapport avec l'énergie de son fonctionnement : elle diminue sous l'influence du froid et des aneathésiques, augmente, au contraire, par une chaleur modérée pour disparaître par l'ébullition.

Cause des oourants électriques d'origine animale dits : courants d'action ou variation négative

(Gazette des hôpitaux, 21 mai 1878. Société de biologie, 4 juillet 1885)

N° 101 Le muscle et tous les tissus contractiles présentent le phénomène connu en électro-physiologie sous le nom d'*oscillation négative*. J'ai montré que cette propriété appartient au protoplasma, en général, et s'explique très bien par les modifications de la *tension superficielle*, découvertes par M. Lippmann, il y a une douzaine d'années. Ce savant a démontré que, si l'on considère la surface de séparation de deux fluides quelconques, non miscibles (eau-mercure, par exemple):

1° Toute déformation de cette surface produit une tension électrique, et réciproquement;

2° Que toute action électrique déforme cette surface.

On vérifie le fait par l'expérience suivante :

Deux vases en verre contiennent chacun du mercure surmonté d'une couche d'eau acidulée ; on réunit entr'elles les deux couches d'eau acidulée par une mèche poreuse et les deux masses de mercure à un galvanomètre. Ce dispositif ne peut donner aucun courant à l'état de repos. Si l'on vient à incliner une des éprouvettes, on augmente la surface de séparation des deux liquides eau-mercure.

Cette augmentation produit un courant allant de cette éprouvette à celle qui est fixe à travers le galvanomètre. Le courant est inverse quand on remet l'éprouvette inclinée dans sa position première. J'ai montré, il y a dix ans (Gazette des hôpitaux, 21 mai 1878), que cette expérience réussit avec des

corps conducteurs quelconques, pourvu qu'ils soient déformables et non miscibles, en laissant écouler goutte à goutte du mercure contenu dans un entonnoir effilé à travers de l'eau acidulée reposant sur une couche de mercure, on obtient, à chaque goutte qui tombe, un courant capable d'exciter le nerf, ainsi que l'a fait M. Lippmann.

Ces expériences sont plus instructives en employant les globules d'huile lourde en suspension dans l'eau alcoolisée ; ces sphères (fig. 64) ont l'avantage de présenter une forme se rapprochant de celle de la cellule vivante.

J'ai démontré que l'*oscillation négative est fonction de la déformation du muscle* par les expériences suivantes : Un premier muscle qu'on fait contracter tire sur un second muscle, qui *s'allonge* sous l'influence de cette traction. On voit alors le muscle contracté donner une oscillation négative et *le muscle allongé une oscillation positive*.

L'oscillation négative est maxima sur un muscle tendu qu'on empêche de se raccourcir. Il semble y avoir contradiction, il n'en est rien ; car l'examen microscopique montre que les changements *intérieurs* du muscle sont alors à leur maximum (Disques clairs et disques sombres).

Autre preuve : *La vitesse de propagation de l'onde négative dans le muscle est la même que celle de la propagation de l'onde musculaire.*

Ainsi : Variation de la tension superficielle du protoplasma par son changement de forme comme

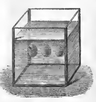


Fig 64

cause, variation négative comme effet, telle est l'explication, d'après moi, de l'oscillation négative. Cette théorie a l'avantage sur celle des molécules péripolaires de du Bois-Reymond d'être compréhensible et de reposer sur un fait physique indéniable. Les variations de forme et les mouvements du protoplasma sont dûs à de simples variations de tension superficielle.

Helmholtz et du Bois-Reymond à qui j'exposais cette théorie en 1881, m'objectaient que la variation négative *précède* la contraction musculaire, tandis que dans ma théorie elle devrait la *suivre* ; qu'en un mot, l'oscillation négative a lieu pendant la période d'*excitation latente* du muscle. Cette objection est réfutée par l'expérience du *muscle téléphonique* qui montre que le *temps perdu* du muscle n'est qu'une illusion due à l'inertie du mysgraphe, qu'il obéit instantanément et sans confusion à toutes les excitations, comme le fait l'électromètre capillaire de Lippmann qui reproduit, lui aussi, la parole (téléphone à mercure d'Antoine Bréguet).

La *tension superficielle* varie dans le protoplasma bien avant qu'il en résulte un mouvement ou un déplacement de totalité du muscle.

C'est *un phénomène moléculaire* qui peut ne donner lieu à *aucun mouvement apparent*, témoin le muscle tendu ou le muscle reproduisant la parole.

Origine de l'électricité chez les poissons électriques. — Schéma physique de l'organe électrique

(Conférence de l'Exposition d'Electricité, 1881. — Lumière Électrique, 1884. Les poissons électriques, par Beauregard)

L'oscillation négative provenant de la variation de la tension superficielle du protoplasma m'a fourni également l'explication de l'origine de l'électricité chez les poissons électriques. **N° 102**

Et d'abord l'électricité n'est pas préformée dans ces organes; on ne peut les assimiler ni à une pile ni à un condensateur, puisque, à l'état de repos, ils ne manifestent aucune tension électrique extérieure accusant une charge.

Ces organes produisent donc l'électricité seulement au moment où ils entrent en fonction sous l'influence de la volonté de l'animal. Ils se comportent au point de vue de la production d'énergie électrique exactement comme le muscle le fait pour l'énergie mécanique.

Le système nerveux ne fait pas plus l'électricité dans l'organe électrique, qu'il ne fait la force mécanique dans le muscle, puisqu'on obtient des décharges après avoir séparé l'organe des centres nerveux, tout comme pour le muscle.

Si la *contractilité* est la propriété du muscle, l'*électrilité* (qu'on me passe ce néologisme) est au

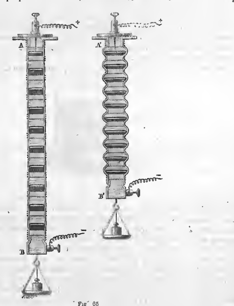


Fig. 65

même titre la propriété de l'organe électrique. J'ai démontré, en effet, qu'on obtient une décharge électrique en déformant *mécaniquement* un morceau d'organe sans nerf (rapport de l'École des hautes études 1882-83).

L'organe électrique est formé par une série de cellules hexagonales superposées. Chaque cellule est remplie, en partie, par une masse granuleuse, probablement de nature protoplasmique, dans laquelle se ramifie le nerf et par une substance amorphe, plus ou moins fluide surmontant la plaque nerveuse, comme l'ont montré les belles études de Ranvier. Nous avons dans cet arrangement toutes les conditions désirables pour produire de l'électricité à haute tension par le phénomène Lippmann.

Considérons une cellule sa base protaplasmique, excitée par le nerf, s'électrise *négativement* l'oscillation négative due à la variation de tension superficielle du protoplasma), la substance non protoplasmique qui est au-dessus *positivement*. La superposition des cellules accouple ces éléments électromoteurs en tension.

Les variations négatives s'additionnent et sont multipliées par le nombre des cellules superposées qui s'élève à plusieurs milliers dans une colonne de l'organe. Toutes ces variations négatives individuelles s'additionnent pour donner à chaque extrémité de colonne terminale une variation négative formidable. Voilà pour la tension.

Ces colonnes sont elles-mêmes au nombre de plusieurs milliers, associées par les pôles du même nom, voilà pour la quantité.

Ces organes peuvent donc donner à la fois la tension et la quantité, voilà pourquoi leur décharge est si formidable.

Cette théorie explique comment il se fait que l'organe électrique se comporte en tout comme un muscle, ainsi que l'ont démontré encore tout récemment les belles expériences de Marey. Les lois de la décharge électrique sont les mêmes que celles de la secousse musculaire. La décharge de cet organe et la variation négative du muscle se produisent par le même mécanisme.

J'ai imaginé de réaliser physiquement un prisme de l'organe électrique pour faire comprendre ma théorie, de la manière suivante :

Je prends un tube de caoutchouc AB (fig. 65) et je le sépare en une série de compartiments, par des disques poreux en roseau ou en terre de pipe, sur lesquels je ficelle le caoutchouc. Chaque compartiment est rempli par une couche de mercure surmonté d'une couche d'eau acidulée.

La couche de mercure représente la partie déformable (protoplasma avec plaque nerveuse) et l'eau acidulée, la substance inerte d'une cellule de l'organe électrique. Si maintenant, je suspends ce tube par sa partie supérieure, *et que je l'allonge brusquement*, en saisissant ses deux extrémités, *je reçois une décharge*. Réciproquement : si je lui envoie une décharge, après avoir suspendu un poids à son extrémité inférieure, ce poids est légèrement soulevé, comme le représente (très mal d'ailleurs) la figure de droite A'B'.

Si le mercure était contractile, c'est-à-dire déformable spontanément comme le protoplasma, nous obtiendrions la décharge sans déformer le tube. Kühne a obtenu le second résultat (raccourcissement du tube par la décharge) en remplissant de protoplasma un intestin d'hydrophile.

D'autre part, j'ai démontré (biologie, 4 juillet 1885 et rapport des hautes études, 1882-83) que si on prend un morceau d'organe électrique et qu'on mette, par un plateau conducteur, chaque face en communication avec un galvanomètre, on obtient une décharge *inverse* en *comprimant* l'organe, et *directe* en le *déprimant*.

C'est la répétition de mon expérience faite avec le muscle et avec le tube de caoutchouc. Ce résultat est absolument inexpliquable en assimilant l'organe électrique à une pile ou à un condensateur, il est tout simple, au contraire, dans ma théorie qui subordonne l'électrogénèse aux changements de la tension superficielle.

Sur un phénomène physique analogue à la conductibilité nerveuse

(Biologie, 3 avril 1886)

Dans cette expérience, toujours basée sur le phénomène Lippmann, je montre qu'une onde électrique, dans certaines circonstances, semble se propager aussi lentement que l'onde nerveuse. Par le dispositif on reproduit artificiellement tous les phénomènes de l'oscillation négative du nerf, que je fais ainsi rentrer dans la même théorie que l'oscillation négative du muscle. **N° 103**

La production d'électricité chez l'homme

Biologie 14 janvier et 11 février 1888.

M. Féré ayant amené à mon laboratoire une névropathe présentant de remarquables phénomènes d'électrisation spontanée, des mesures faites à l'électromètre Mascart me montrèrent : **N° 104**

1° Que la charge statique dépassait 1000 volts ;

2° Que le potentiel de cette charge était très différent pour chaque côté du corps ;

3° Que certaines excitations sensorielles (couleurs, odeurs) modifiaient instantanément ce potentiel.

La réalité du phénomène étant établie, restait à en donner l'explication. J'ai montré :

1° Que l'électricité constatée chez cette personne est d'origine extérieure au sujet et nullement de cause organique, comme M. Féré était disposé à l'admettre ;

2° Que la source d'électricité réside entièrement dans la sécheresse plus grande de la peau et le frottement des vêtements. (Cette sécheresse inégale des 2 côtés du corps a été constatée par l'application d'un hygromètre spécial de mon invention, encore inédit) ;

3° Que les variations du potentiel sous l'influence des excitations sensorielles ne tient nullement non plus à une production d'électricité par le sujet, mais uniquement à une modification de la secrétion cutanée qui entraîne un changement dans la répartition de cette charge ;

4° Que les différences de potentiel qu'on peut constater normalement sur la peau humaine, ne dépassent pas, et même n'atteignent jamais un volt, quand on prend les précautions physiques nécessaires pour éviter toutes causes d'électrisation extérieure au sujet ;

5° Enfin, que pour produire *organiquement* de l'électricité à haut potentiel, il faut un organe spécial comme celui dont on constate l'existence chez les poissons électriques.

Pourquoi l'électromètre à quadrants ne revient pas au zéro

(Biologie, 11 février 1888).

N° 105 Beaucoup d'expérimentateurs ont constaté que l'électromètre à quadrants à suspension bifilaire ne revient pas rigoureusement au zéro, surtout quand il est polarisé faiblement. Ce défaut est surtout manifeste en employant mon procédé optique de lecture de la déviation ; après bon nombre d'essais infructueux, j'ai pu, il y a un an, reconnaître et supprimer cette cause d'erreur.

Ce défaut n'est dû, ni au mode de suspension de l'aiguille, ni à la viscosité de l'acide sulfurique, mais uniquement à ce que la communication entre l'aiguille et le corps à explorer se fait par l'intermédiaire de 2 fils de platine plongeant dans l'acide sulfurique concentré.

Cet ensemble constitue un conducteur liquide *polarisable* dont la polarisation variable est la cause unique du déplacement du zéro. J'ai remplacé l'acide sulfurique par une solution concentrée de zincate de potasse (aussi avide d'eau que l'acide sulfurique), et les tiges de platine par des tiges de zinc amalgamées, ou mieux par du laiton frotté avec un amalgame de zinc.

La polarisation étant ainsi rendue impossible, l'instrument revient absolument au zéro et présente, en employant mon amplificateur optique, une remarquable sensibilité, supérieure même à l'électromètre capillaire de Lippmann.

Section III

CIRCULATION — RESPIRATION — DIVERS

Paradoxe hydrodynamique

(Société de Biologie, 25 novembre 1876.)

En faisant écouler un liquide à travers un tube de caoutchouc de petit diamètre, j'ai constaté ce fait inattendu : *que le débit augmente en rétrécissant l'orifice placé à l'extrémité du tube*. Ce phénomène n'a pas lieu avec un tube rigide. N° 106

Ce paradoxe s'explique très simplement : lorsque l'orifice est complètement ouvert, la pression du réservoir ne se transmet pas jusqu'au bout du tube, elle est absorbée par les frottements contre les parois ; en rétrécissant, au contraire, cet orifice, le tube s'élargit (par pression latérale) dans toute sa longueur, et la pression se transmet intégralement jusqu'à l'orifice d'écoulement. Cette augmentation de charge compense, et au-delà, le rétrécissement de l'orifice d'écoulement.

Cette expérience montre qu'il est parfaitement possible qu'une constriction *limitée* des capillaires sanguins puisse augmenter la rapidité de la circulation. Ce mécanisme est très probable chez certains crustacés dont le système artériel et le système veineux sont séparés par de véritables sphincters. Couty a montré qu'il en était ainsi pour le chien dans certaines de ses expériences où il déterminait l'anémie encéphalique (V. biologie, 9 décembre 1876.)

Mise au point d'une préparation microscopique sans toucher ni au microscope ni à la préparation

(Biologie, 3 mars 1877.)

Ce procédé consiste à injecter de l'eau dans le corps du microscope, entre l'objectif et l'oculaire. En augmentant la densité du milieu où se forme l'image donnée par l'objectif, on raccourcit le foyer proportionnellement à l'épaisseur de la couche d'eau injectée. N° 107

Dosage des gaz dans les liquides de l'organisme

(Biologie, 17 janvier 1880.)

Ce procédé a l'avantage de n'exiger qu'une faible quantité de liquide (1 centimètre cube) et de supprimer toute correction de température, de pression et d'état hygrométrique pour la lecture du volume gazeux. L'exactitude obtenue est néanmoins aussi grande qu'en prenant de 20 à 50 fois plus de liquide par les méthodes ordinaires. N° 108

Pour arriver à ce résultat, je fais la lecture du volume des gaz dégagés à une pression de beaucoup inférieure (de 20 à 50 fois) à la pression atmosphérique. Le volume *apparent* du gaz reste donc le même que si j'en mesurais une quantité plus grande (de 20 à 50 fois) à la pression atmosphérique.

L'appareil se compose de deux tubes barométriques, gradués en centimètres cubes, plongeant dans une longue cuvette *commune* contenant du mercure. L'un d'eux est fixe (tube correcteur) et sa chambre barométrique contient un peu d'eau et un centimètre cube de gaz (air atmosphérique) mesuré à la température de zéro et à 760 millimètres.

Le second tube (tube analyseur) est mobile et reçoit le gaz à mesurer. En le déplaçant verticalement dans la cuve, on amène le mercure au même niveau dans les deux tubes. Dans ces conditions, on a deux volumes gazeux dans les mêmes conditions de température, de pression et d'état hygrométrique. Comme le volume contenu dans le tube fixe est connu une fois pour toutes, on en déduit, par une simple lecture, le volume gazeux contenu dans le tube mobile.

Sur la reconstitution du sang après les hémorrhagies

(Biologie, 14 février 1880)

N° 109 J'ai vu qu'après une hémorrhagie abondante chez le chien, l'albumine et la fibrine du sang restant, sont presqu'entièrement à l'état de peptones. De plus, j'ai trouvé que le sérum d'un pareil sang constitue un suc digestif très actif. Il s'est donc formé des ferments dans le sang, après l'hémorrhagie. Les cellules se sont digérées elles-mêmes pour reconstituer ce liquide, car le même phénomène a lieu après la ligature de la veine porte.

Transformation de la glycose en amidon

(Biologie, 15 janvier 1881)

N° 110 En exposant un fruit sucré (pomme ou poire) dans le vide sec, au-dessus de l'acide sulfurique, j'ai vu, au bout de peu de temps, des grains d'amidon se former en grande quantité *sous l'écorce du fruit.* En coupant le fruit en deux, on ne trouve pas d'amidon sur les surfaces de section. La présence de cette membrane semble donc nécessaire pour produire le phénomène. Cette expérience montre la condition physique qui fait que certains légumes sucrés (petits pois) deviennent rapidement farineux quand on les laisse à l'air.

Action du maté sur les gaz du sang

En commun avec Couty. — (Biologie, 9 juillet 1881)

N° 111 Cette substance, injectée dans l'estomac du chien, amène :

1° Une diminution considérable des gaz du sang ;

2° Une proportion plus grande d'oxygène dans le sang veineux.

C'est donc un aliment qui diminue la consommation d'oxygène par les tissus et, par conséquent, un antidéperditeur.

Appareil pour préparer l'oxygène à froid

(Biologie, 1 avril 1882)

N° 112 On fait tomber une solution de bichromate de potasse dans l'acide chlorhydrique en excès sur du bioxyde de Baryum. Il se forme de l'eau oxygénée qui se décompose et qui décompose également l'acide chromique en fournissant de l'oxygène à froid.

Procédé pour enregistrer les phases du dégagement d'acide carbonique dans la respiration

(Biologie, 27 mars 1886)

N° 113 L'appareil que j'ai imaginé pour enregistrer les *phases* du dégagement de CO^2, repose sur le principe suivant :

A travers un tube approprié coule, goutte à goutte, une solution de potasse caustique ; les gaz de

l'expiration circulent en sens inverse dans le tube et abandonnent, dans ce trajet, CO^2 à la solution alcaline.

Au sortir du tube, la solution caustique tombe dans un flacon contenant de l'eau acidulée sulfurique. Au contact de l'acide, le CO^2 se dégage et se rend sous un petit gazomètre enregistreur. Le mouvement de la cloche, sous l'influence du dégagement de CO^2, inscrit donc, d'une manière continue, non seulement le volume total du gaz dégagé, mais aussi *les phases* de ce dégagement.

Procédé pour enregistrer les phases de l'excrétion de l'urée par le rein

(Biologie, 27 mars 1888)

C'est le même appareil encore plus simple. On place une sonde dans la vessie. Cette sonde N° 114
laisse écouler l'urine, à mesure qu'elle est secrétée, dans un flacon contenant une solution d'hypobromite de soude. Le gaz azote, résultant de la décomposition de l'urée, se rend sous le gazomètre inscripteur comme pour l'acide carbonique.

Appareil pour inscrire la quantité d'oxygène consommée par un être vivant

(Biologie, 22 janvier 1887).

Cet appareil se compose de trois parties : N° 115

1° Une trompe à eau ordinaire aspirante et soufflante ;

2° Une cloche sous laquelle on place l'animal ;

3° Un gazomètre inscripteur plein d'oxygène.

La tubulure d'aspiration de la trompe est reliée au sommet de la cloche, sa tubulure de refoulement, à la partie inférieure.

En faisant fonctionner la trompe, l'air de la cloche circule sur lui-même, sans pouvoir s'échapper. Il est constamment lavé par le courant d'eau qui emporte avec lui tout l'acide carbonique produit par l'animal.

La diminution de volume résultant de la consommation est constamment compensée par l'apport d'un égal volume d'oxygène dont le gazomètre enregistreur inscrit les phases.

La trompe a l'avantage :

1° D'absorber rapidement et complètement l'acide carbonique ;

2° De refroidir les gaz respirés, toujours à la même température ;

3° De dissoudre complètement et d'entraîner les matières putrides et toxiques provenant de la respiration ;

4° Enfin, d'entretenir un courant d'eau régulier et continu autour de l'animal, sans nécessiter aucun mécanisme, comme cela a lieu avec l'appareil classique de Regnault et Reiset ou leurs similaires.

Appareil pour étudier les différentes conditions physiques du milieu gazeux capables de modifier la respiration chez l'homme

(Biologie, 10 décembre 1887).

Cet appareil se compose d'une grande cloche métallique, hermétiquement close, dans laquelle N° 116
s'enferme l'individu en expérience. Il respire une masse limitée d'air dont la composition est toujours ramenée à l'état initial par absorption de l'acide carbonique et restitution de l'oxygène.

Ces deux phénomènes s'enregistrent automatiquement à l'aide des appareils décrits ci-dessus.

L'air circule sur lui-même dans l'appareil simplement par la chaleur (thermo-siphon latéral) sans aucun mécanisme. Pendant le trajet, un pulvérisateur à potasse absorbe l'acide carbonique produit; l'oxygène consommé est restitué à l'appareil par un gazomètre enregistreur.

La disposition de l'appareil permet de faire varier indépendamment : 1° la température ; 2° l'état hygrométrique ; 3° la richesse en oxygène ; 4° et, au besoin, la pression barométrique.

Procédé pour absorber rapidement l'acide carbonique de la respiration

(Biologie, 10 décembre 1887).

N° 117 Ce procédé extrêmement efficace et rapide, consiste à *pulvériser* par un pulvérisateur à air ou à vapeur, une solution de potasse dans un tube que parcourent les produits de l'expiration. Avec une très faible quantité de liquide, la surface d'absorption est rendue énorme et pas un atome de CO^2 ne peut échapper.

Recherches sur l'importance, surtout pour les phtisiques, d'un air non vicié par les exhalaisons pulmonaires

En commun avec M. Brown-Séquard

(Académie des Sciences, 28 novembre 1887.)

N° 118 Dans cette note, nous établissons l'influence néfaste de l'air confiné, contenant des émanations du poumon. Nous montrons, de plus, qu'un air pur a une grande puissance, non seulement pour empêcher, mais même pour guérir la phtisie pulmonaire.

Enfin, nous présentons un appareil très simple répondant au double besoin de l'expulsion totale de l'air expiré et de l'entrée d'air pur dans une chambre à coucher.

Cet appareil (fig. 66) se compose essentiellement d'une hotte H qui se place au-dessus de la tête

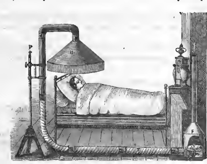


Fig. 66

de la personne couchée ou assise. Cette hotte est supportée, à son sommet, par un tube métallique deux fois coudé qui peut glisser le long d'un pied P, pour en faire varier la hauteur.

Ce tuyau métallique est relié à un tube souple, fait en étoffe imperméable, et le calibre en est maintenu béant par une hélice métallique intérieure. Ce tube souple aboutit à un petit fourneau dans lequel brûle un bec de gaz ou des veilleuses, suivant les cas. Ce fourneau se place dans la cheminée ou dans tout autre lieu communiquant avec l'extérieur. On détermine ainsi un appel d'air constant sous la hotte, et les gaz provenant de la respiration se trouvent constamment rejetés au dehors sans pouvoir se mélanger à l'air inspiré.

Cet appareil, malgré sa simplicité, est d'une efficacité absolue. Il a l'avantage de pouvoir s'installer partout sans nécessiter aucun changement aux installations déjà existantes. De plus, il peut servir dans un grand nombre de maladies, surtout dans les affections fébriles où l'aération d'une chambre par l'ouverture des fenêtres pourrait être dangereuse. Il reçoit des modifications qui n'en changent pas, d'ailleurs, le principe, pour s'adapter aux lits d'hôpitaux, de dortoirs, etc...

Recherches démontrant que l'air expiré par l'homme et les mammifères, à l'état de santé, contient un agent toxique très puissant

En commun avec M. Brown-Séquard

(Biologie, 24 décembre 1887. — Académie des Sciences, 9 janvier 1888.)

Après avoir condensé, dans un vase refroidi, la vapeur pulmonaire, nous avons injecté le liquide de condensation dans les veines du lapin, et nous avons vu l'animal périr de cette injection en pré- N° 119

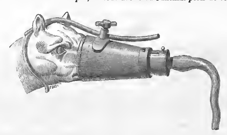


Fig. 67

sentant des symptômes spéciaux. Nos expériences nous amènent à formuler les conclusions suivantes :

1° Les poumons de l'homme, du chien et du lapin, à l'état de santé, produisent un poison extrêmement énergique, et qui en sort sans cesse avec l'air expiré ;

2° Il est extrêmement probable, sinon certain, que c'est cet agent toxique qui rend si dangereux l'air confiné.

Nouvelles recherches sur les phénomènes produits par un agent toxique très puissant qui sort sans cesse des poumons de l'homme et des mammifères avec l'air expiré

En commun avec M. Brown-Séquard

(Biologie, 14 janvier, et Académie des Sciences, 16 janvier 1888.)

Dans cette seconde communication, nous montrons :

1° Que ce poison pulmonaire, injecté sous la peau, est tout aussi actif qu'injecté dans le sang;

2° Que l'ébullition en vase clos ne le détruit pas ;

3° Que ce poison est un alcaloïde organique analogue aux leucomaïnes, et non un microbe.

Remarques à l'égard du poison pulmonaire

En commun avec M. Brown-Séquard.

(Biologie, 21 janvier 1888.)

Description de l'appareil qui nous sert à recueillir le poison pulmonaire Ce dispositif a

mérite de laisser la respiration s'effectuer dans les conditions normales et sans jeter de troubles dans l'organisme.

Pour l'homme, nous nous servons d'une sorte de masque qui s'applique sur la figure et qui est relié à un appareil aspirateur (trompe à eau, bec de gaz ou compteur à gaz à mouvement forcé) grâce auquel un courant d'air pur continu traverse le masque. Au sortir du masque, le courant d'air entraînant les produits de la respiration, traverse un récipient entièrement en verre refroidi par de la glace, où se condense, sous forme d'un liquide très limpide, la vapeur d'eau pulmonaire, tenant le poison en solution.

L'appareil employé pour le chien est identique, à cela près, qu'ici le masque est une simple cloche en verre tubulée coiffant la tête de l'animal; nous l'avons tout récemment remplacée par une muselière métallique représentée ci-contre (fig. 67) et qui porte autour du museau une couronne de trous (non représentés sur la figure) servant à l'entrée de l'air appelé par l'aspirateur (comme dans le masque pour l'homme).

Toxicité de l'air expiré

En commun avec M. Brown-Séquard

(Biologie, 28 janvier 1888).

N° 120 Dans cette note nous montrons:

1° Que le poison pulmonaire tue le pigeon et le cobaye aussi bien que le lapin;

2° Que ce liquide tue après avoir été injecté dans le rectum ou dans l'estomac;

3° Qu'un cobaye est mort en moins de 12 heures après l'injection de 3 cent. cubes du liquide pulmonaire dans le péritoine;

4° Qu'injecté dans les poumons, ce liquide y détermine une congestion considérable, rapidement suivie d'une véritable inflammation qui, faute de temps, ne va pas au-delà de l'hépatisation rouge.

Ressemblance entre l'action toxique de certaines ptomaînes et celle du poison pulmonaire

En commun avec M. Brown-Séquard

(Biologie, 4 février 1888)

N° 121 De nouvelles expériences nous ont prouvé que, comme pour les ptomaînes, le poison pulmonaire libre (alcalin) est plus toxique que ses sels (sulfate et oxalate). De plus, le mode d'action de ce poison le rapproche considérablement de la ptomaîne qui a été si bien étudiée par Brieger sous le nom de névrine putréfactive.

C'est un motif nouveau à ajouter aux raisons que nous avons données et aux recherches chimiques de M. R. Wurtz, pour considérer le poison pulmonaire comme un alcaloïde animal.

Appareil permettant de faire respirer à des animaux de l'air libre et pur quant à ses proportions d'oxygène et d'acide carbonique, mais contenant des quantités considérables du poison de l'air expiré.

En commun avec M. Brown-Séquard

(Biologie, 4 février 1888)

N° 122 Cet appareil résout le problème suivant:

Faire respirer des animaux à l'air libre, tout en empêchant l'élimination du poison pulmonaire.

Après avoir étudié les effets physiologiques *immédiats* du poison pulmonaire, nous recherchons en ce moment, à l'aide de cet appareil, quel est son rôle pathogénique, en le faisant agir longtemps sur un ou plusieurs animaux, sans qu'il puisse se produire de modifications du milieu respirable, comme celles qui ont lieu pour l'air confiné, où l'on peut incriminer à la fois le manque d'oxygène

et l'excès d'acide carbonique. Notre première communication sur le rapport constant qui existe entre la tuberculose et l'air confiné d'une part, et secondement la guérison de la tuberculose par l'air pur, nous fait supposer que le poison pulmonaire est capable, à lui seul, de produire la phtisie pulmonaire.

Nouvelle lumière à incandescence par le gaz. — Application à l'examen microscopique, à l'analyse spectrale et à la photographie

(Biologie, 18 février 1888)

J'ai étudié, à ce triple point de vue, ce nouveau brûleur dû à M. Aüer de Vienne pour l'éclairage au gaz. Il consiste en une corbeille de Zircone, portée au blanc éblouissant par un bec Bunsen. La lumière obtenue est absolument fixe, analogue à la lumière oxhydrique de Drummond. Des expériences, contrôlées par MM. Malassez et Hénocque m'ont prouvé l'excellence de ce mode d'éclairage N° 123

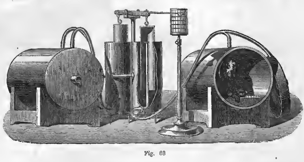


Fig. 68

pour l'examen au microscope et à l'hémato-spectroscope. Cette source lumineuse est très photogénique et commode pour l'analyse spectrale et toutes les expériences d'optique.

Recherches théoriques et expérimentales sur le rôle de l'élasticité pulmonaire

(Thèse pour le doctorat soutenue le 6 août 1877 et couronnée par la Faculté de Médecine de Paris)

Dans ce travail, j'arrive aux conclusions suivantes qui reposent sur des bases exclusivement expérimentales : N° 124

1° La rétractilité du poumon tient à deux causes : aux fibres élastiques de l'organe et à la tonicité de ses fibres musculaires.

2° Cette élasticité fait jouer au poumon le rôle d'un ressort antagoniste qui soulève le diaphragme et dilate les oreillettes qui peuvent ainsi exercer une succion lors de leur diastole ; le cœur est donc bien une pompe aspirante et foulante.

3° Cette élasticité offrant une résistance à l'entraînement du diaphragme, crée autour du poumon une diminution de pression qui constitue le vide pleural.

4° *Cette diminution de pression maintient dilatés les vaisseaux pulmonaires*, par aspiration excentrique de leurs parois qui sont toujours écartées.

5° *Cette perméabilité est proportionnelle au vide pleural.*

6° *Le vide pleural et, par conséquent, la capacite sanguine du poumon est maximum à la fin de l'aspiration.*

7° L'aspiration thoracique tient surtout à l'augmentation de volume des vaisseaux pulmonaires lors de l'inspiration ;

8° Cette augmentation peut être assez grande pour empêcher, à ce moment, l'oreillette gauche de se remplir, d'où résulte une intermittence du pouls ;

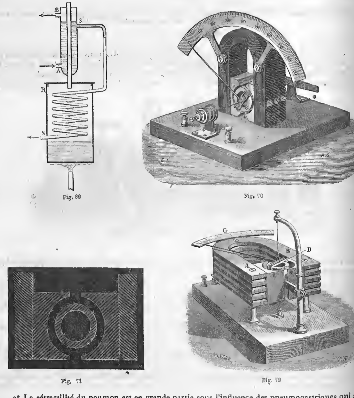


Fig. 69

Fig. 70

Fig. 71

Fig. 72

9° La rétractilité du poumon est en grande partie sous l'influence des pneumogastriques qui animent ses fibres musculaires ;

10° La section des ces nerfs entraîne toutes les conséquences dûes à la diminution du vide pleural et à la dilatation paralytique des canalicules respirateurs.

Calorimètre enregistreur à air

N° 135 La figure 68 représente, en perspective, le calorimètre compensateur à air, décrit précédemment, et rendu enregistreur.

Appareil pour avoir de l'eau à cent degrés

(Travaux du laboratoire de Marey 1878-79)

Cet appareil (fig. 69) m'a servi comme source de chaleur à température constante dans mes recherches sur la calorimétrie de l'incubation. L'eau qui doit servir à chauffer le calorimètre constamment à 40 degrés sort par le tube S après avoir été chauffée dans le serpentin S S', qui plonge dans le vase R contenant de la vapeur d'eau à 100°. A B est un réfrigérant qui condense toujours la vapeur en excès venant du vase R.

Galvanomètres à circuit mobile et à déviations proportionnelles aux intensités

En commun avec M. Deprez

(La Lumière Electrique, 13 décembre 1884 et 27 août 1885)

Ces appareils sont une modification du galvanomètre décrit précédemment. Ils sont à lecture directe et, par conséquent, l'arc décrit pendant la déviation doit pouvoir être très grand. Pour que les variations restent proportionnelles aux intensités, il faut que le champ magnétique, dans lequel se déplace le cadre, soit uniforme.

Pour arriver à ce résultat, il suffit de munir l'aimant d'épanouissements polaires C C entourant le tube de fer doux central E. On a ainsi un champ magnétique uniforme, comme l'ont démontré les expériences de M. Deprez.

La forme du champ magnétique est exactement celle du champ d'une machine Gramme, ainsi que le représente le dessin en noir annexé à cette description (fig. 71).

La figure 72 représente un modèle dans lequel le cadre est suspendu verticalement à la façon ordinaire.

La figure 70 est un modèle horizontal. La lecture des déviations est ainsi rendue plus facile.

Ces deux appareils sont d'un usage pratique très commode, surtout en électrothérapie. Ils sont très rapides, n'oscillent point et se trouvent à l'abri de toutes les influences magnétiques.